



**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE**

**TRABALHO DE LICENCIATURA**

**Monitorização dos parâmetros atmosféricos com carácter odorífico  
emitidos na Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) do  
Infulene-Maputo**

**Autor:** Arone Gedião

**Supervisor:**

Prof. Doutor Jonas Valente Matsinhe, Eng<sup>o</sup>

Maputo, Novembro de 2024

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Curso de Licenciatura em Engenharia do Ambiente

**Trabalho de licenciatura**

**Monitorização dos parâmetros atmosféricos com carácter odorífico  
emitidos na Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) do  
Infulene-Maputo**

Relatório submetido ao  
Departamento de Engenharia Química,  
Faculdade de Engenharia, Universidade  
Eduardo Mondlane, como requisito básico  
para a obtenção do grau de licenciatura em  
Engenharia do Ambiente

Autor: Arone Gedião

Supervisor:

Prof. Doutor Jonas Matsinhe, Eng<sup>o</sup>

Maputo, Novembro de 2024



FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante \_\_\_\_\_  
Entregou no dia \_\_\_\_/\_\_\_\_/20\_\_\_\_, as cópias do relatório do seu trabalho de licenciatura  
com \_\_\_\_\_ referência: \_\_\_\_\_,  
intitulado: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Maputo, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_\_\_

Chefe da Secretaria

\_\_\_\_\_

### **Declaração de Honra**

Declaro, por minha honra que o presente trabalho é da minha autoria, tendo sido elaborado por conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do curso, tendo como base a referência bibliográfica. E esta é a primeira vez a ser submetida para obtenção do grau de licenciatura em Engenharia do Ambiente na Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2024

O autor

---

(Arone Gedião)

## Dedicatória

À memória do meu pai, Gedião Pessanhe Penicera

À minha mãe, Julieta Sara Edissone

Aos meus irmãos

Aos demais familiares e amigos

## **Agradecimentos**

A elaboração de um trabalho desta dimensão exige, para além dos conhecimentos teóricos e técnicos adquiridos ao longo do curso, a orientação e ajuda valiosa de muitas pessoas para o esclarecimento de dúvidas. Assim sendo, gostaria eu humildemente agradecer:

A Deus, o Pai Todo-poderoso, por ter resplandecido e guiado o meu caminho estudantil durante todos esses anos.

Aos meus progenitores, Gedião e Sara, por terem-me trazido ao mundo e terem-me conduzido nos meus primeiros passos como pessoa, que não conhecia eu, nem uma letra alfabética.

A Direcção Municipal de Infra-estruturas Urbanas de Maputo, pela permissão em colectar os dados na ETAR do Infulene, que viriam a ser os resultados e discussão do presente trabalho e impossível seria a realização do mesmo sem os dados colectados.

À eng<sup>a</sup> Dilene Margarida Guidar de Carvalho com toda a sua equipa de trabalho, pela supervisão na colecta de dados, transmitindo conhecimentos, força e amizade.

Ao professor Doutor Jonas Matsinhe da Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Química, o meu orientador, por todos conhecimentos transmitidos, pelo tempo gasto e pelas sugestões dadas para uso de equipamentos usados na colecta de dados. Também quero endereçar a minha gratidão ao Professor Bento Cambula pelo apoio de esclarecimento de dúvidas ao longo deste trabalho.

Em último lugar, gostaria de agradecer a todos os familiares, amigos e colegas pelo carinho, apoio, dedicação e compreensão demonstrados, não só no decurso deste trabalho, mas também ao longo de todo curso.

A todos, MUITO OBRIGADO!

## Resumo

Os odores emitidos por estações de tratamento de águas residuais urbanas (ETAR) representam um problema potencial para a sua integração urbanística e ambiental. Por outro lado, alguns odores representam igualmente um perigo potencial para a segurança e saúde dos trabalhadores das ETAR, para a conservação das infra-estruturas e para a eficiência de tratamentos das águas residuais.

Deste modo, o conhecimento sobre a sua ocorrência, contenção e tratamento é fundamental para a concepção. Os odores que ocorrem nas estações de tratamento de águas residuais têm origem nos compostos orgânicos voláteis (VOC) e compostos inorgânicos voláteis (CIV). Por sua vez, a emissão desses compostos é influenciada por condições meteorológicas do local de estudo e das condições anaeróbias a que ficam sujeitas as águas residuais da ETAR do Infulene.

Com a finalidade de determinar os valores mínimos e máximo dos parâmetros atmosféricos detectados na estação do Infulene para verificar até que ponto que as emissões desses parâmetros podem ser incómodas para os trabalhadores assim como os visitantes ocasionais, foram realizadas medições das concentrações de formaldeído (HCHO), compostos orgânicos voláteis totais (TVOC) e partículas suspensas na atmosfera ( $PM_{10}$ ) nas fases de tratamento das águas residuais.

Portanto, no período da manhã as concentrações médias mínimas e máximas dos parâmetros são 0.008 ppm e 0.339 ppm para formaldeído respectivamente,  $490 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $2783 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para compostos orgânicos voláteis totais respectivamente, 120 e  $347 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para partículas suspensas respectivamente.

E quanto ao período da tarde foram detectados seguintes valores mínimos e máximos, 0 ppm e 0.244 ppm para formaldeído,  $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $984 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para compostos orgânicos voláteis totais,  $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $203 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para as partículas suspensas. Com base no trabalho experimental realizado, constatou-se que, em certos dias e pontos de amostragem, os valores do formaldeído e os materiais particulados ultrapassam os limiares da legislação

ambiental que rege sobre esses dois parâmetros, isso de acordo os padrões internacionais.

**Palavras-chave:** Odores, emissão, HCHO, TVOC, PM<sub>10</sub> e ETAR.

## Abstract

The odors emitted by urban wastewater treatment plants (WWTP) represent a potential problem for their urban environmental integration. On the other hand, some odors also represent a potential danger to safety and health of WWTP workers, the conservation of infrastructure and the efficiency of wastewater treatments. Therefore, knowledge about its occurrence, containment and treatment is fundamental for design.

Odors that occur in wastewater treatment plants originate from volatile organic compounds (VOC) and volatile inorganic compounds (CIV). In turn, the emission of these compounds is influenced by meteorological conditions at the study site and the anaerobic conditions to which the wastewater from the Infulene WWTP is subjected.

In order to determine the minimum and maximum values of the parameters can be uncomfortable for workers as well as occasional visitors, measurements of formaldehyde (HCHO) concentrations were carried out, total volatile organic compounds (TVOC) and suspended particles in the atmosphere ( $PM_{10}$ ) in the wastewater treatment phases.

Therefore, in the morning the minimum and maximum average concentrations of the parameters are 0.008 ppm and 0.339 ppm for formaldehyde respectively,  $490\mu\text{g}/\text{m}^3$  and  $2783\mu\text{g}/\text{m}^3$  for total volatile organic compounds respectively,  $120\mu\text{g}/\text{m}^3$  and  $347\mu\text{g}/\text{m}^3$  for suspended particles respectively.

And regarding the afternoon period, the following minimum and maximum values were detected,  $0\mu\text{g}/\text{m}^3$  and 0.244 ppm for formaldehyde,  $21\mu\text{g}/\text{m}^3$  and  $984\mu\text{g}/\text{m}^3$  for total volatile organic compounds,  $0\mu\text{g}/\text{m}^3$  and  $203\mu\text{g}/\text{m}^3$  for suspended particles. Based on the experimental work carried out, it was found that, on certain days and sampling points, the values exceeded the thresholds of the environmental legislation that governs these parameters, in accordance with international standards

Keywords: Odors, Emission, HCHO, TVOC,  $PM_{10}$  and WWTP.

## Índice

Dedicatória .....	i
Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract.....	v
Lista de abreviaturas .....	viii
Índice de figuras .....	ix
Índice Tabelas.....	xi
1. Introdução.....	1
1.1. Objectivos.....	2
1.1.1. Objectivo geral .....	2
1.1.2. Objectivos específicos .....	2
1.2. Definição do problema .....	3
1.3. Metodologia de estudo .....	4
2. Revisão Bibliográfica .....	5
2.1. A atmosfera .....	5
2.2. Poluição do ar .....	6
2.2.1. Poluentes atmosféricos.....	7
2.2.2. Classificação dos poluentes atmosféricos.....	7
2.3. Odores-Definições e Conceitos .....	8
2.3.1. Compostos azotados e sulfurados.....	9
2.3.2. Compostos oxigenados e aromáticos .....	10
2.3.2.1. Formaldeído .....	11
2.3.2.2. Compostos orgânicos voláteis totais (TVOC).....	12
2.3.2.3. Material particulado.....	12
2.3.3. Resumo dos factores limitantes da ocorrência de odores .....	13
2.3.4. Fontes emissoras de odores nas ETAR's .....	15
2.3.5. Percepção dos odores .....	17
2.3.6. Implicações da ocorrência de odores em ETAR's .....	18
2.3.7. Legislação aplicável à qualidade do ar e odores.....	19
2.3.8. Avaliação dos odores .....	20
2.4. Transportes de poluentes na atmosfera .....	21
3. Caso De Estudo – ETAR Da Cidade De Maputo .....	25
3.1. Caracterização do local de Estudo.....	25

4. Parte Experimental.....	26
4.1. Material e Métodos.....	26
4.2. Pontos de amostragem .....	27
4.3. Descrição dos pontos de amostragem .....	28
4.3.1. Tratamento preliminar.....	28
4.3.2. Lagoas anaeróbias.....	29
4.3.3. Ponto de encontro .....	30
4.3.4. Lagoas facultativas.....	30
5. Resultados e Discussão.....	32
6. Conclusão e Recomendações .....	68
6.1. Recomendações.....	69
Bibliografia.....	70
Apêndices.....	74
Apêndice 1.....	74
Apêndice 2.....	80
Anexos .....	81

## Lista de abreviaturas

CIV	Compostos inorgânicos voláteis
COV	Compostos orgânicos voláteis
CLP	Camada limite planetária
EPA	Agência de Protecção Ambiental Americana
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
NIOSH	National Institute for occupational Safety and Health
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
TWA	Time- weighted-average
C	Celling limit
REL	Recommended airborne exposure limit
PEL	Permissible exposure limit
TLV	Threshold limit value
MAA	Média aritmética anual
ETAR	Estação de tratamento de águas residuais
LAN 1	Lagoa anaeróbia número 1
LAN 2	Lagoa anaeróbia número 2
LAN 3	Lagoa anaeróbia número 3
LAN 4	Lagoa anaeróbia número 4
LAF 1	Lagoa facultativa número 1
LAF 2	Lagoa facultativa número 2
TVOC	Compostos orgânicos voláteis totais
VLE	Valores Limite de Exposição

## Índice de figuras

FIGURA 1: ESTRUTURA VERTICAL DA ATMOSFERA EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA .....	5
FIGURA 2: ESQUEMA DE PROCESSO DA POLUIÇÃO DO AR .....	6
FIGURA 3: FÓRMULA ESTRUTURAL DE FORMALDEÍDO .....	11
FIGURA 4: PROCESSO DE PERCEPÇÃO DOS ODORES.....	17
FIGURA 5: PROCESSO DE INVERSÃO TÉRMICA .....	23
FIGURA 6: EXEMPLO VARIAÇÃO DA ESTABILIDADE DA ATMOSFERA AO LONGO DO DIA .....	23
FIGURA 7: PROCESSO ATMOSFÉRICO COM AUSÊNCIA DA INVERSÃO TÉRMICA.....	24
FIGURA 8: LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DO INFULENE ...	25
FIGURA 9: FORMALDEHYDE DETECTOR (FONTE: FOTOGRAFIAS TIRADAS PELO AUTOR) .....	27
FIGURA 10: A ILUSTRAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM.....	28
FIGURA 11: OBRA DO TRATAMENTO PRELIMINAR (FONTE: FOTOGRAFIA TIRADA PELO AUTOR) ..	29
FIGURA 12: ILUSTRAÇÃO DAS LAGOAS ANAERÓBIAS (FONTE: FOTOGRAFIAS TIRADAS PELO AUTOR) .....	29
FIGURA 13: PONTO DE ENCONTRO ONDE TODAS AS ÁGUAS RESIDUAIS VINDAS DAS LAN .....	30
FIGURA 14: ILUSTRAÇÃO DA LAGOA FACULTATIVA (FONTE: FOTOGRAFIA TIRADA PELO AUTOR) 31	
FIGURA 15: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DO FORMALDEÍDO NO PERÍODO DA MANHÃ.....	33
FIGURA 16: PERFIS DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS TVOC NO PERÍODO DA MANHÃ .....	34
FIGURA 17: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS MATERIAIS PARTICULADOS NO PERÍODO DA MANHÃ .....	35
FIGURA 18: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DO HCHO NO PERÍODO DA TARDE .....	35
FIGURA 19: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS TVOC NO PERÍODO DA TARDE .....	36
FIGURA 20: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES DOS MATERIAIS PARTICULADOS NO PERÍODO DA TARDE. ....	36
FIGURA 21: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DO FORMALDEÍDO NO PERÍODO DA MANHÃ 37	
FIGURA 22: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES DOS TVOC NO PERÍODO DA MANHÃ .....	37
FIGURA 23: PERFIL DOS MATERIAIS PARTICULADOS NO PERÍODO DA MANHÃ .....	38
FIGURA 24: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DO FORMALDEÍDO NO PERÍODO DA TARDE .	39
FIGURA 25: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS TVOC NO PERÍODO DA TARDE .....	39
FIGURA 26: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES DOS MATERIAIS PARTICULADOS NO PERÍODO DA TARDE .....	40
FIGURA 27: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DO HCHO NO PERÍODO DA MANHÃ.....	40
FIGURA 28: PERFIL DOS TVOC NO PERÍODO DA MANHÃ NA LAN 2 .....	41
FIGURA 29: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS PM10 NO PERÍODO DA MANHÃ .....	41
FIGURA 30: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES DO HCHO NO PERÍODO DA TARDE .....	42
FIGURA 31: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS TVOC NO PERÍODO DA TARDE. ....	43
FIGURA 32: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES DOS MATERIAIS PARTICULADOS NO PERÍODO DA TARDE .....	43
FIGURA 33: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES DE HCHO NO PERÍODO DA MANHÃ.....	44
FIGURA 34: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES DOS TVOC NO PERÍODO DA MANHÃ .....	45
FIGURA 35: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS PM10 NO PERÍODO DA MANHÃ .....	45
FIGURA 36: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES DO HCHO NO PERÍODO DA TARDE .....	46
FIGURA 37: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES DOS TVOC NO PERÍODO DA TARDE.....	46
FIGURA 38: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS PM10 NO PERÍODO DA TARDE.....	47
FIGURA 39: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES DO HCHO NO PERÍODO DA MANHÃ .....	48

FIGURA 40: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS TVOC NO PERÍODO DA MANHÃ .....	49
FIGURA 41: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS PM10 NO PERÍODO DA MANHÃ .....	49
FIGURA 42: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DO HCHO NO PERÍODO DA TARDE .....	50
FIGURA 43: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES DOS TVOC NO PERÍODO DA TARDE.....	50
FIGURA 44: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS PM10 NO PERÍODO DA TARDE.....	51
FIGURA 45: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DO FORMALDEÍDO NO PERÍODO DA MANHÃ	52
FIGURA 46: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS TVOC NO PERÍODO DA MANHÃ .....	52
FIGURA 47: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS PM10 NO PERÍODO DA MANHÃ .....	53
FIGURA 48: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES DO HCHO NO PERÍODO DA TARDE .....	53
FIGURA 49: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS TVOC NO PERÍODO DA TARDE .....	54
FIGURA 50: PERFIL DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS PM10 NO PERÍODO DA TARDE.....	54
FIGURA 51: PERFIS COMPARATIVOS DO FORMALDEÍDO NOS DOIS PERÍODOS.....	55
FIGURA 52: PERFIS COMPARATIVOS DOS TVOC NOS DOIS PERÍODOS DO DIA .....	55
FIGURA 53: PERFIS DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS NOS DOIS PERÍODOS DO DIA .....	56
FIGURA 54: CONCENTRAÇÕES COMPARATIVAS DO HCHO NOS DOIS PERÍODOS DO DIA .....	56
FIGURA 55: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS TVOC COMPARATIVAS NOS DOIS PERÍODOS DO DIA .....	57
FIGURA 56: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS COMPARATIVAS DOS PM10 NOS DOIS PERÍODOS DO DIA .....	57
FIGURA 57: PERFIS DAS CONCENTRAÇÕES DO FORMALDEÍDO NOS DOIS PERÍODOS DO DIA .....	58
FIGURA 58: PERFIS DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS NOS DOIS PERÍODOS DO DIA .....	58
FIGURA 59: PERFIS DAS CONCENTRAÇÕES DOS PM10 NOS DOIS PERÍODOS DO DIA .....	58
FIGURA 60: PERFIS DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DO HCHO NOS DOIS PERÍODOS DO DIA ....	59
FIGURA 61: PERFIS DAS CONCENTRAÇÕES DOS TVOC NOS DOIS PERÍODOS DO DIA .....	59
FIGURA 62: OS PERFIS DAS CONCENTRAÇÕES DOS PM10 NOS DOIS PERÍODOS DE DIA .....	60
FIGURA 63: PERFIS DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DO HCHO NOS DOIS PERÍODOS DO DIA ....	60
FIGURA 64: PERFIS DAS CONCENTRAÇÕES DOS TVOC NOS PERÍODOS DA MANHÃ E DA TARDE	61
FIGURA 65: PERFIS DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS PM10 NOS DOIS PERÍODOS DO DIA ...	61
FIGURA 66: PERFIS DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DO HCHO NOS DOIS PERÍODOS DO DIA ....	62
FIGURA 67: PERFIS DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS TVOC NOS DOIS PERÍODOS DO DIA ...	62
FIGURA 68: OS PERFIS DAS CONCENTRAÇÕES DOS PM10 NOS DOIS PERÍODOS DO DIA .....	63
FIGURA 69: PERFIS DAS CONCENTRAÇÕES DO HCHO NOS DOIS PERÍODOS DO DIA.....	63
FIGURA 70: OS PERFIS DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS TVOC NOS DOIS PERÍODOS DO DIA .....	64
FIGURA 71: OS PERFIS DAS CONCENTRAÇÕES DOS PM10 NOS DOIS PERÍODOS DO DIA .....	64
FIGURA 72: PERFIS DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DO HCHO NOS DOIS PERÍODOS DO DIA ....	65
FIGURA 73: PERFIS DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS TVOC NOS DOIS PERÍODOS DO DIA ...	65
FIGURA 74: PERFIS DAS CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS PM10 NOS DOIS PERÍODOS DO DIA ...	66

## Índice Tabelas

TABELA 1: LIMITES DE DETECÇÃO DE ALGUNS COMPOSTOS ODORÍFICOS AZOTADOS (FONTE: ÂNGELA SOFIA, 2021)	9
TABELA 2: LIMITES DE DETECÇÃO DE ALGUNS COMPOSTOS ODORÍFICOS SULFURADOS (FONTE: ÂNGELA SOFIA, 2021)	10
TABELA 3: LIMITES DE DETECÇÃO DE ALGUNS COMPOSTOS ODORÍFICOS OXIGENADOS E AROMÁTICOS (FONTE: ÂNGELA SOFIA, 2021)	10
TABELA 4: PRINCIPAIS FACTORES QUE AFECTAM A OCORRÊNCIA DE ODORES (FONTE: ANTUNES, 2006)	14
TABELA 5: RESUMO DOS LOCAIS ONDE OCORREM ODORES NAS ETAR (FONTE: WEF/ASCE, 1995)	15
TABELA 6: LIMITES DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAIS DO FORMALDEÍDO ESTABELECIDOS PELAS PRINCIPAIS INSTITUIÇÕES MUNDIAIS (FONTE: PINA, 2010)	20
TABELA 7: ESCALAS DE MOVIMENTO E FENÓMENOS ASSOCIADOS. FONTE: (MANDU, 2010)	22
TABELA A1. 1: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DO FORMALDEÍDO NO PRÉ-TRATAMENTO	74
TABELA A1. 2: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DO FORMALDEÍDO NA LAN 1	74
TABELA A1. 3: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DO FORMALDEÍDO NA LAN 2	74
TABELA A1. 4: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DO FORMALDEÍDO NA LAN 3	74
TABELA A1. 5: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DO FORMALDEÍDO NA LAN 4	75
TABELA A1. 6: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DO FORMALDEÍDO NO PONTO DE ENCONTRO	75
TABELA A1. 7: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DO FORMALDEÍDO NA LAF 1	75
TABELA A1. 8: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DO FORMALDEÍDO NA LAF 2	75
TABELA A1. 9: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS TOTAIS PRÉ-TRATAMENTO	76
TABELA A1. 10: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS TOTAIS LAN 1	76
TABELA A1. 11: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS TOTAIS LAN 2	76
TABELA A1. 12: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS TOTAIS LAN 3	76
TABELA A1. 13: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS TOTAIS LAN 4	77
TABELA A1. 14: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS TOTAIS PONTO DE ENCONTRO	77
TABELA A1. 15: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS TOTAIS NA LAF 1	77
TABELA A1. 16: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS TOTAIS LAF 2	77
TABELA A1. 17: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS MATERIAIS PARTICULADOS NO PRÉ-TRATAMENTO	78
TABELA A1. 18: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS MATERIAIS PARTICULADOS NA LAN 1	78
TABELA A1. 19: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS MATERIAIS PARTICULADOS NA LAN 2	78
TABELA A1. 20: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS MATERIAIS PARTICULADOS NA LAN 3	78
TABELA A1. 21: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS MATERIAIS PARTICULADOS NA LAN 4	79
TABELA A1. 22: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS MATERIAIS PARTICULADOS NO PONTO DE ENCONTRO	79
TABELA A1. 23: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS MATERIAIS PARTICULADOS NA LAF 1	79
TABELA A1. 24: CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DOS MATERIAIS PARTICULADOS NA LAF 2	79

## 1. Introdução

A emissão de compostos odoríficos por algumas fontes tem gerado diversos conflitos com a população afectada. De um modo geral, a presença de compostos odoríficos no ar é consequência das emissões gasosas de compostos específicos como compostos orgânicos voláteis (COV) e compostos inorgânicos voláteis (CIV).

A poluição provocada por esses compostos afecta a qualidade do ar e é possivelmente tóxica para a saúde pública, sobretudo os COV que contribuem para a formação de oxidantes fotoquímicos na camada limite da troposfera (Filho, 2000).

Os compostos odoríficos são provenientes de inúmeras fontes, como sistemas de tratamento de resíduos, da indústria petroquímica e alimentar, da produção pecuária, das indústrias que produzem e/ou usam solventes (colas e tintas) e de estações de tratamento de águas residuais (ETAR), que é o foco do vigente trabalho.

Geralmente, a emissão de compostos odoríficos associada às estações de tratamento de águas residuais urbanas (ETAR), constitui um dos impactos ambientais mais sensíveis em novas instalações e em reabilitação/reconfiguração, como em meios urbanos.

Por outro lado, alguns dos compostos odoríficos podem constituir, quando em concentrações elevadas, uma ameaça para a segurança e saúde dos trabalhadores que a eles estão expostos, para além de contribuírem para uma rápida degradação dos equipamentos electromecânicos como os da construção civil (Antunes, 2004).

Desde a sua implantação em 1984 pela DHV Consulting Engineers, tendo entrado em funcionamento em 1987, a Estação de Tratamento de Águas Residuais do Infulene (ETAR) que localiza-se na cidade de Maputo, no vale do Infulene próximo do Bairro Jardim, utiliza tecnologia de tratamento por lagunagem, que consiste no tratamento em lagoas, sem necessidade de intervenção de meios mecânicos (Jane, 2017).

De acordo com (Antunes, 2006), os odores que ocorrem numa ETAR tem a origem, em compostos sulfurados ou azotados, incluindo o ácido sulfídrico ( $H_2S$ ), que se forma em consequência da redução do sulfato, que é a principal forma sob a qual o enxofre se

apresenta nas águas residuais e também da decomposição anaeróbia da matéria orgânica que potencia a libertação de mercaptanos ( $\text{CH}_3\text{SH}$ ) e de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).

Entre todos os tipos de compostos odoríficos provenientes das estações de tratamento de águas residuais, o sulfeto de hidrogénio ( $\text{H}_2\text{S}$ ) é um dos principais gases maus cheirosos emitidos por ETAR, pois é facilmente detectado pela maioria dos indivíduos em concentrações extremamente baixas em curtos intervalos de tempo pelo sistema olfactivo humano. Porém, nessa pesquisa será dada ênfase e atenção a detecção de formaldeído ( $\text{CH}_2\text{O}$ ), os TVOC (Compostos Orgânicos Voláteis Totais) e partículas suspensas (especificamente  $\text{PM}_{10}$ ), focalizando essa detecção como o problema da qualidade de vida dos trabalhadores e aos visitantes ocasionais da estação.

E devido aos problemas atmosféricos verificados pela ocorrência dos odores nas últimas décadas, a comunidade científica tem intensificado os estudos da qualidade do ar, controlo e a limitação dos compostos odoríficos nas estações de tratamento de águas residuais (Sousa., (2009))

Portanto, em função do exposto, o vigente trabalho buscou monitorizar os parâmetros acima mencionados. Só de salientar que, os estudos de monitorização de poluentes odoríficos constituem um importante instrumento de avaliação do impacto ambiental relativo às instalações de tratamento de águas residuais.

## 1.1. Objectivos

### 1.1.1. Objectivo geral

Este trabalho tem como objectivo geral monitorizar os níveis das concentrações dos parâmetros atmosféricos com carácter odorífico emitidos na ETAR do Infulene.

### 1.1.2. Objectivos específicos

- Mensurar os níveis das concentrações dos parâmetros atmosféricos identificados no interior da ETAR;
- Determinar as concentrações médias mínimas e máximas dos parâmetros medidos na ETAR;
- Verificar a existência ou não existência dos padrões estabelecidos na legislação ambiental que limitem a emissão dos parâmetros em estudos.

## 1.2. Definição do problema

As emissões gasosas das ETAR têm tradicionalmente recebido uma menor atenção comparativamente às emissões da fase líquida (águas residuais) e da fase sólida (lamas), nomeadamente pelo facto de as emissões gasosas colocarem, aparentemente, menores riscos para a saúde pública e para o ambiente. Porém, a preocupação do público em geral com a libertação de parâmetros atmosféricos com carácter odorífero de ETAR, tem-se revelado um fenómeno crescente dado que, essas emissões gasosas, em particular, os odores, podem ter um grande impacto na população vizinha, afectando a sua qualidade de vida e conduzindo a problemas indirectos como stress psicológico e a degradação da imagem das ETAR junto do público.

As emissões gasosas desses parâmetros nas estações de tratamento de águas residuais contêm compostos que podem causar implicações ambientais, implicações na saúde ocupacional e implicações nas infra-estruturas.

Neste contexto, ETAR do Infulene carece de um estudo de monitorização dos parâmetros atmosféricos com carácter odorífero que possibilite a minimização da ocorrência dos mesmos, para que posteriormente adopte-se medidas correctivas e preventivas para o bem-estar de todos que frequentam, ocasional ou constantemente a ETAR do Infulene, inclusive a população vizinha.

As emissões gasosas desses parâmetros incentivaram o autor a explorar a área da poluição atmosférica do local. A possibilidade de obter dados directamente da estação de tratamento do Infulene de parâmetros atmosféricos constituiu um incentivo adicional, na medida em que proporcionaria o confronto entre o conhecimento teórico do autor adquirido ao longo do curso e os aspectos práticos da estação. Só de salientar que, nem sempre que os aspectos práticos de um determinado trabalho ou pesquisa são directamente proporcionais ao conhecimento teórico concebido.

Portanto, o presente trabalho tem importância sócio-ambiental, pois a monitorização desperta a sociedade científica de verificar, até que nível as condições anaeróbias e meteorológicas favorecem a emissão dos parâmetros atmosféricos de carácter odorífero nas estações de tratamento de águas residuais.

### 1.3. Metodologia de estudo

O vigente trabalho é de natureza qualitativa-quantitativa, pois, visa monitorizar os parâmetros atmosféricos com carácter odorífico emitidos na estação de tratamento de águas residuais (ETAR) do Infulene.

A natureza é qualitativa-quantitativa porque combina as duas abordagens para compreender de forma mais enfática as causas que originam o problema em estudo, fundamentando as mesmas através de gráficos e tabelas para a ilustração dos resultados.

Quanto ao tipo de metodologia científica é bibliográfica e trabalho de campo, pois para além de comportar fundamentos teóricos de alguns autores, a pesquisa será também suportada com informações colhidas na realidade (Cervo & Bervian, 1996).

A pesquisa bibliográfica foi feita com base na consulta de materiais publicados que incluem artigos científicos, livros, relatórios, teses e dissertações que discorrem a respeito do tema em análise (D'artagnan Almeida, 2021).

O trabalho de campo consistirá na observação da área de estudo, definição de pontos para a colecta de dados, entrando na ETAR do Infulene. A medição das concentrações dos parâmetros será feita através detector de gases (Formaldehyde detector-model-p24381) que será especificada de forma detalhada ao longo do discorrer do trabalho.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. A atmosfera

A atmosfera pode ser entendida como uma camada constituída de vapores, gases, partículas líquidas e sólidas em suspensão envolvendo a Terra, formando assim um sistema ambiental integrado (Kemp, 1994.).

As camadas de ar podem ser separadas na vertical em troposfera, estratosfera, mesosfera e ionosfera ou termosfera. A troposfera é a camada de ar mais próxima à superfície da Terra. Ela é estreita e densa, contendo a maioria da massa gasosa da atmosfera (75%), vapor de água e aerossóis. Nela ocorre a maioria dos fenômenos atmosféricos, como chuva, os ventos etc. (Pires, 2005).

A estratosfera é a camada mais seca, onde residem as maiores concentrações de ozônio, que propiciam os processos de absorção e dispersão de parte dos raios solares incidentes. A mesosfera e a ionosfera são as camadas mais distantes da Terra. As mesmas sofrem a distribuição espectral da energia solar que alcançam as camadas inferiores mais próximas do solo. A estrutura vertical da atmosfera é traçada de acordo com o perfil da temperatura.

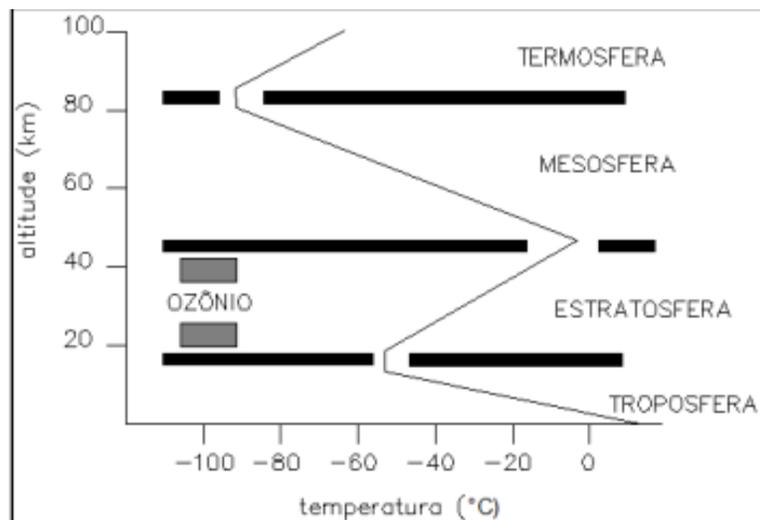


Figura 1: Estrutura vertical da atmosfera em função da temperatura

Fonte: (Kemp, 1994.)

## 2.2. Poluição do ar

A poluição do ar é hoje um assunto exaustivamente discutido mundialmente, devido à relevância do tema. Segundo (Soares, 2008), poluição é toda introdução num sistema de agentes químicos, físicos ou biológicos em quantidade suficiente para provocar anomalias do ecossistema e os seres vivos nele considerado ou a deterioração física de bens materiais.

Para (Zannetti, 1990), um poluente é responsável por alterar a composição média geoquímica do meio ambiente, diferentemente de um contaminante.

A poluição atmosférica pode ser definida como a presença ou lançamento no ambiente atmosférico de substâncias em concentrações suficientes para interferir directa ou indirectamente com a saúde, segurança e bem-estar do homem, ou com o pleno gozo de sua propriedade (De Melo Lisboa H. , Controle da poluição atmosférica, , 2008).

Apesar de ter-se aperfeiçoado os estudos na área de poluição atmosférica, este fenómeno é considerado muito complexo, devido ao facto que é necessário considerar também a dispersão dos poluentes na atmosfera e as reacções fotoquímicas que acontecem entre eles (Lora, 2000.). Neste contexto, faz-se necessário o uso de ferramentas, como modelos matemáticos para avaliar a dispersão dos poluentes emitidos.

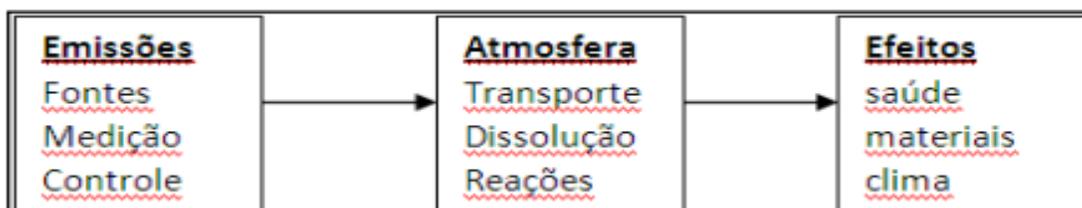


Figura 2: Esquema de processo da poluição do ar

Fonte: (Lora, 2000.)

### **2.2.1. Poluentes atmosféricos**

Toda substância, qualquer que seja o estado físico, que traz prejuízo à composição química da atmosfera, ao bem-estar do homem, dos animais e do meio ambiente, proporcionando efeitos sobre a sociedade que podem ou não ser expressos economicamente, pode ser considerada um poluente (Pires, 2005).

Considera-se poluente atmosférico “qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos e que tornem ou possam tornar o ar:

- Impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;
- Inconveniente ao bem-estar público;
- Danoso aos materiais, à fauna e à flora;
- Prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às actividades normais da comunidade” (Barboza, 2021)

### **2.2.2. Classificação dos poluentes atmosféricos**

Tendo em vista o facto de existirem uma grande variedade de agentes tóxicos na atmosfera, torna-se difícil a tarefa de se estabelecer uma classificação. De acordo com (De Melo Lisboa H. , 2008) os poluentes são classificados conforme com sua origem, estado físico e composição química.

#### **1. Origem**

- a. Primários: aqueles emitidos directamente pelas fontes de emissão. Dentre os quais materiais particulados, dióxidos de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogénio ( $\text{NO}_x$ ) e os hidrocarbonetos ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ).
- b. Secundários: os quais são formados na atmosfera resultante de interacções fotoquímicas entre os próprios poluentes primários ou com os compostos originais da atmosfera. Destacam-se o trióxido de enxofre ( $\text{SO}_3$ ) e o ozónio ( $\text{O}_3$ ).

#### **2. Estado físico**

- a. Vapores e gases: cita-se os compostos derivados de enxofre ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , sulfatos), compostos de nitrogénio (NO,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , nitratos), compostos orgânicos de carbono (hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos orgânicos,

monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), e os compostos halogenados (HCL, HF, cloretos, fluoretos).

- b. Material particulado: são aqueles resultantes da mistura de compostos no estado sólido ou líquido, formando os fumos, névoas, poeiras e fumaças (aerossóis ou aerodispersores).
3. Composição química
- a. Orgânico: poluentes que na sua composição são formadas por hidrocarbonetos.
  - b. Inorgânico: os poluentes que não são orgânicos.

### 2.3. Odores-Definições e Conceitos

O odor é definido como uma propriedade de um composto, definida em termos de estrutura química e concentração, que afecta o olfacto (Lima, 2008).

Os odores resultam das sensações da interacção de moléculas orgânicas ou inorgânicas voláteis de diversas origens com o sistema olfactivo do organismo, provocando impulsos nervosos que são transmitidos ao cérebro (Filipe, 2009).

O incómodo que o odor pode causar depende da presença de uma mistura de moléculas químicas voláteis as quais reagem com a mucosa nasal causando uma sensação olfactiva.

A resposta do ser humano a este estímulo varia de acordo com a combinação entre as propriedades sensoriais do que se está avaliando, como a intensidade do odor, concentração de detecção e principalmente o tipo de emoção proporcionado (agradável ou desagradável) (Zuritta, 1999). Estações de tratamento de esgoto, aterros sanitários, indústrias alimentícias constituem algumas das principais fontes dos compostos odoríficos.

Em ETAR, a origem dos odores é a água residual e as lamas produzidas. Usualmente, os compostos odoríficos são formados durante o transporte e tratamento das águas residuais em consequência da actividade biológica anaeróbia (Antunes, 2006).

Por outro lado, a ocorrência de compostos odoríficos nas ETAR's também pode ter origem em descargas de efluentes industriais, que contenham compostos odoríficos ou

outras características que promovam o estabelecimento de condições anaeróbias e a intensidade dos mesmos pode ser agravada pela recirculação interna associada a algumas operações nomeadamente, espessamento e desidratação das lamas (Antunes, 2004).

Nestes compostos estão incluídos um amplo conjunto de diferentes produtos químicos. As famílias dos compostos odoríficos podem conferir uma menor ou maior intensidade ao odor, independentemente da sua função química (Pereira, 2021).

### 2.3.1. Compostos azotados e sulfurados

A emissão de compostos azotados é bastante comum nas estações de tratamento de águas residuais, sendo o amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) uma das substâncias mais emitidas através dos processos de decomposição aeróbia e/ou anaeróbia de proteínas. Na tabela abaixo são apresentados exemplos de compostos azotados, a sua fórmula química, assim como o seu limite de detecção apresentado em partes por bilião (ppb).

Tabela 1: limites de detecção de alguns compostos odoríficos azotados (fonte: **(Pereira, 2021)**)

Composto azotado	Limite de detecção (ppb)	Fórmula química
Amónia	500-37000	$\text{NH}_3$
Putrescina	-	$\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2$
Etilamina	50-830	$\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$
Metilamina	21000	$\text{CH}_3\text{NH}_2$

Em relação aos compostos odoríficos sulfurados, estes são os mais comuns e mais detectável, pelo facto do seu limite de detecção ser muito baixo.

Tabela 2: limites de detecção de alguns compostos odoríficos sulfurados (fonte: (Pereira, 2021))

Composto sulfurado	Limite de detecção (ppb)	Fórmula química
Dissulfeto de carbono	11-32	CS <sub>2</sub>
Sulfureto de hidrogénio	0.47	H <sub>2</sub> S
Dimetil sulfeto	0.1-63	CH <sub>3</sub> SCH <sub>3</sub>
Sulfeto de carbonila	102	COS
Dióxido de enxofre	64000	SO <sub>2</sub>

### 2.3.2. Compostos oxigenados e aromáticos

Grande parte dos compostos aromáticos e oxigenados provem da decomposição de matéria orgânica. A emissão destes encontra-se relacionada com o tipo de indústria e das suas actividades, maioritariamente estes compostos são de origem das matérias-primas utilizadas.

Tabela 3: limites de detecção de alguns compostos odoríficos oxigenados e aromáticos (fonte: (Pereira, 2021))

Classe do composto	Composto odorífico	Limite de detecção (ppb)	Fórmula química
Aromáticos	Tolueno	0.16	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>
	Xileno	0.851	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>
Ácidos	Acético	0.025-6.5	CH <sub>3</sub> COOH
	Butírico	0.0004-3	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> COOH
Álcoois	Etanol	0.2	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
	Butanol	0.006-0.13	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH
	Clorofenol	0-18	CLC <sub>5</sub> H <sub>4</sub> OH
Aldeídos	Formaldeído	0.033-1.12	CH <sub>2</sub> O
	Acetaldeído	0.04-1.8	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O

### 2.3.2.1. Formaldeído

O formaldeído, que também é chamado de metanal, aldeído fórmico, óxido de metileno, dentre outros, é o composto mais simples da família dos aldeídos. Possui peso molecular abaixo de (30.03 g/mol), é solúvel em água, álcool etílico, éter de etílico e pode ser misturado em cetonas e benzeno. Possui fórmula química HCHO e tem sua estrutura molecular como demonstra a figura abaixo (Sakinah, 2019).

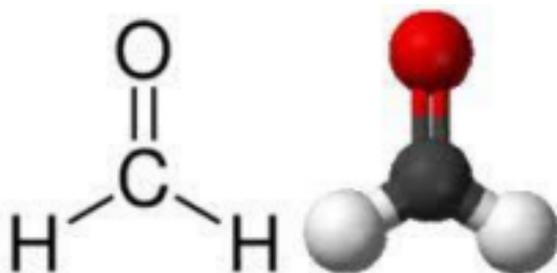


Figura 3: Fórmula estrutural de formaldeído

Fonte: Coelho, 2009

O formaldeído é um gás incolor, inflamável e altamente reactivo em condições normais de temperatura e pressão. No ar ambiente, o formaldeído se polimeriza rapidamente formando dessa forma um precipitado denominado de paraformaldeído, devido às suas características físicas e seu baixo custo, compreende-se entre as 25 substâncias químicas que são produzidas com maior abundância no mundo.

O formaldeído é um dos compostos voláteis que possui formação nos primeiros estágios de decomposição de resíduos vegetais no solo, e ocorre naturalmente em frutas e outros alimentos (Nuraeni, 2017)

O formaldeído é frequentemente adicionado a diversos produtos, como papel de parede, cosméticos, detergentes, conservantes e fungicidas. Devido a seu baixo ponto de ebulição (-19,5°C), quando a temperatura ambiente aumenta, o formaldeído contido nesses produtos é volatilizado, contaminando o ar.

Dessa forma, devido a alta volatilidade do formaldeído, maior quantidade é inalada por aqueles que auxiliam na descarga das águas residuais. Para além disso, altas

concentrações de formaldeído, pode causar fortes dores de cabeça, irritação dos olhos, tosse, falta de ar, vertigem, dificuldade para respirar, edema pulmonar.

### **2.3.2.2. Compostos orgânicos voláteis totais (TVOC)**

Os compostos orgânicos voláteis são quaisquer compostos que participem de reacções fotoquímicas na atmosfera, com pressão de vapor maior que 10 Pa à 25°C e a sua temperatura de ebulição está abaixo de 260°C à pressão atmosférica. Por sua vez, os compostos orgânicos voláteis são parte de uma ampla classe de hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, incluindo os seus derivados halogenados, álcoois, cetonas e aldeídos.

Quanto as fontes de emissão, os COV podem ser emitidos em combustão industrial, evaporação de solventes, indústrias de alimentos e no processo de tratamento de águas residuais urbanas, que a espinha dorsal do presente trabalho.

O estudo de compostos orgânicos voláteis tem grande importância, na medida em que directa ou indirectamente afectam as mudanças climáticas, assim como a saúde humana. No que diz respeito aos efeitos da saúde, os compostos orgânicos voláteis totais, podem causar dores de cabeça, irritação, perda da capacidade de perceber ou sentir a existência de odores, quando a exposição for frequente. Só de salientar que alguns TVOC são carcinogénicos como é o caso de formaldeído (Meyer, 2018).

Geralmente existem milhares de compostos orgânicos voláteis (COVs) no meio ambiente como referido anteriormente pelas diferentes funções orgânicas mencionadas. Portanto, os compostos orgânicos voláteis totais (TVOC) são uma classe de COVs usada para indicar o conjunto total de contaminantes existentes no meio ambiente. A soma total de COVs é designada por TVOC.

### **2.3.2.3. Material particulado**

O termo partículas em suspensão diz respeito a um grande número de grandes substâncias químicas existentes na atmosfera na forma de partículas sólidas ou líquidas,

abrangendo uma variada gama de tamanhos, formas e densidades e apresentando variada composição química (Magalhães, 2005).

Assim, o material particulado atmosférico é uma mistura complexa de substâncias orgânicas e inorgânicas, e varia em tamanho, composição e origem, podendo se apresentar nos estados sólidos ou líquido.

As partículas atmosféricas são discriminadas entre si, principalmente, pelo seu diâmetro aerodinâmico. Assim, diferenciam-se as em quatro classes, a saber: partículas grossas (2,5-10 $\mu$ m), partículas finas (0,1-2,5  $\mu$ m), partículas ultrafinas (0,01-0,1  $\mu$ m) e nano partículas (<0.01  $\mu$ m).

Segundo Wilson et al (1997), no material particulado inalável grosso (MP<sub>10</sub>) encontram-se predominantemente na composição: solo suspenso ou poeira de rua; cinzas de combustão incompleta de carvão, óleo e madeira; nitratos/cloretos/sulfatos de reações de HNO<sub>3</sub>, HCl, SO<sub>2</sub>, óxidos de elementos da crosta terrestre (Si, Al, Ti, Fe), sais de CaCO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub>, NaCl.

As condições de visibilidade na atmosfera são influenciadas pelas partículas em suspensão, podendo, desta forma, afectar inclusive o clima, absorvendo as radiações solares e diminuindo sua incidência sobre a superfície terrestre (Magalhães, 2005).

O material particulado afecta a saúde humana de várias maneiras, com a irritação dos olhos e das vias respiratórias, a redução da capacidade pulmonar, redução da performance física, o agravamento de doenças crónicas do aparelho respiratório, dentre outras. Por meio da respiração, as partículas alcançam desde as narinas até os alvéolos pulmonares, provocando processos inflamatórios que debilitam o sistema respiratório.

### **2.3.3. Resumo dos factores limitantes da ocorrência de odores**

Na tabela abaixo resumem-se os principais factores limitantes da produção de compostos odoríficos na água residual e da sua libertação da água residual para a atmosfera.

Tabela 4: Principais factores que afectam a ocorrência de odores (fonte: Antunes, 2006)

Factores	Produção e libertação de compostos odoríficos	
	Aumenta	Diminui
Dimensão do sistema de drenagem	Grande	Pequeno
Regime de escoamento e interface liquido-gás	Turbulento e na presença de concentrações elevadas de compostos odoríficos	Turbulento e na presença de concentrações reduzidas de compostos odoríficos
Composição da água residual	Concentrações elevadas e com compostos reduzidos	Concentrações reduzidas e compostos oxidados
Oxigénio dissolvido	Indisponível	Disponível
<p>p<sup>H</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Amoníaco, aminas e outros compostos orgânicos voláteis a partir de meios alcalinos</li> <li>▪ Sulfureto de hidrogénio, mercaptanos e ácidos orgânicos voláteis – compostos voláteis a partir de meios ácidos</li> </ul>	<p>P<sup>H</sup> &gt; 9,0</p> <p>P<sup>H</sup> &lt; 7,0</p>	-
Temperatura	>16 °C	<16 °C

### 2.3.4. Fontes emissoras de odores nas ETAR's

As instalações de tratamento das águas residuais, embora bem projectadas, uma vez e outra podem gerar odores, como subproduto no processo do tratamento. Com o rápido desenvolvimento urbano, as instalações de tratamento que antes eram isoladas, constantemente vêem-se cercadas pelo desenvolvimento residencial (ASCE/WEF, 1995).

As populações vizinhas a essas estações de tratamento, são as mais atentas e exigentes diante dos incómodos olfactivos. Por consequência, as unidades de tratamento, podem rapidamente tornar-se indesejáveis à vizinhança, embora tenham sido instaladas bem antes das residências. Com o aumento dessa consciência pública, as reclamações aos órgãos municipais tornaram-se frequentes fazendo com que o tratamento dos odores hoje faça parte das unidades de tratamento de águas residuais (ASCE/WEF, 1995).

As principais fontes emissoras de odores de águas residuais são: as redes de colectores, os órgãos de pré-tratamento, os decantadores primários, as lagoas anaeróbias e os espessadores, digestores e sistemas de desidratação de lamas (Sousa., (2009)).

De acordo com (Eddy, 2003), numa ETAR convencional, as operações na obra de entrada e no tratamento preliminar tem o maior potencial para a libertação de odores, especialmente em instalações às quais estejam associados a longos sistemas de recolha onde as condições anaeróbias possam ser criadas.

É fundamental evitar a acumulação de sólidos nos órgãos de tratamento, controlando convenientemente as cargas e os tempos de retenção hidráulica. A intervenção na operação das fontes de emissão, quando não existe tratamento de odores, é por vezes a única estratégia possível para os diminuir.

Tabela 5: Resumo dos locais onde ocorrem odores nas ETAR (fonte: Asce, 1995)

Órgão de tratamento	Origem do odor e razão	Potencial odorífico
Obra de entrada	Libertação de compostos odoríficos gerados no sistema de recolha e drenagem de águas residuais devido à turbulência nos canais e em pontos de transição	Elevado

Gradagem	Libertação de compostos odoríficos a partir da matéria putrescível removida nas grades	Elevado
Remoção de areia	Libertação de compostos odoríficos devido à remoção de matéria orgânica com a areia	Elevado
Tanques de equalização	Libertação de compostos odoríficos devido à acumulação de escumas e sólidos sedimentados	Elevado
Retorno de escorrências dos espessadores	Libertação de compostos odoríficos a partir das escorrências associadas aos processos de tratamento de lama	Elevado
Decantação primária	Libertação de compostos odoríficos no espelho de água e nos descarregadores associados à presença de matéria orgânica em decomposição	Moderado/elevado
Processos biológicos por biomassa fixa	Septicidade devido à oxigenação insuficiente, elevada carga orgânica, ou colmatação do meio filtrante	Moderado/elevado
Tanques de arejamento	Lamas recirculadas em estado séptico, caudais de escorrências odoríficas, elevada carga orgânica, mistura deficiente, oxigénio dissolvido insuficiente, deposição de sólidos	Baixo/moderado
Decantação secundária	Libertação de compostos odoríficos associados à presença de escumas e de lamas	Baixo/moderado
Espessamento, tanques de retenção de sólidos	Libertação de compostos odoríficos associados à presença de sólidos e de escumas na superfície dos órgãos, nos deflectores e caleiras, à turbulência nos deflectores e caleiras, ao aumento da temperatura	Moderado/elevado
Armazenamento de lama	Libertação de compostos odoríficos associada a uma mistura deficiente ou inexistente e à ocorrência de escumas	Moderado/elevado
Desidratação mecânica	Libertação de compostos odoríficos a partir dos sólidos desidratados devido ao teor em matéria putrescível. A adição de químicos promove a libertação de amoníaco	Moderado/elevado
Trasfega de lama	Libertação de compostos odoríficos durante a trasfega das lamas armazenadas para os veículos de transporte	Elevado
Instalações de compostagem	Libertação de compostos odoríficos a partir dos sólidos compostados devido ao arejamento insuficiente e, ou à ventilação inadequada	Elevado
Estabilidade química	Libertação de compostos odoríficos a partir dos sólidos estabilizados devido à produção de amoníaco resultante da reacção com a cal	Moderado

Leitos de secagem de lama	Libertação de compostos odoríficos a partir dos sólidos desidratados devido ao excesso de matéria putrescível e, ou à estabilização insuficiente	Moderado/elevado
---------------------------	--	------------------

### 2.3.5. Percepção dos odores

De acordo com (Frenchen, 1994), o processo de percepção do odor pode ser separado em dois momentos: a recepção fisiológica e a interpretação psicológica. Neste contexto, como resultado final tem-se a impressão mental do odor. Abaixo a figura mostra um esquema de como ocorre a percepção do odor.

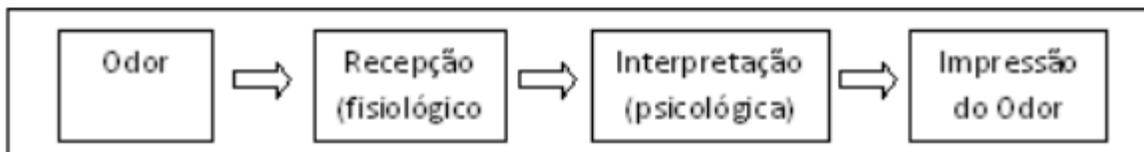


Figura 4: Processo de percepção dos odores

Fonte: (Frenchen, 1994)

No que concerne à caracterização de um odor, (Nuvolari, 2003), enumeram quatro factores que devem ser considerados para caracterizar um odor:

- Qualidade ou Carácter: é um parâmetro bastante subjectivo. Pois, o odor sentido é associado a outro odor (cheiro de fruta, peixe, ovo, menta). O cheiro lembra uma outra substância;
- Detectabilidade ou Concentração do odor: reflecte o número de diluições necessárias para se reduzir um odor à concentração mínima detectável de um odor;
- Hedonicidade: refere-se à característica agradável ou desagradável de um odor. É uma categoria de julgamento que denuncia se um odor traz a sensação de prazer ou desprazer;
- Intensidade: remete a força de um odor, normalmente medido com o olfatômetro, tendo como composto de referência o butanol, por diluição até o limiar olfactivo.

A percepção de um odor depende de inúmeras variáveis. Existem diferentes correlações entre o julgamento quanto a intensidade, carácter e força hedónica nas respostas aos odores diários. A intensidade percebida depende da concentração do estímulo, podendo variar mantendo as mesmas concentrações (Silva, 2002).

Segundo (Mcginley, 2006.) a percepção odorante em uma população, varia de acordo com a concentração dos odores.

### **2.3.6. Implicações da ocorrência de odores em ETAR`s**

Os principais problemas associados à presença de odores dizem respeito aos efeitos da saúde dos trabalhadores das ETAR`s ou das pessoas que ocasionalmente a elas se deslocam. Os efeitos na saúde das populações vizinhas e nos ecossistemas podem ter igualmente algum significado, dependendo das condições locais topográficas e meteorológicas.

De acordo com (Einarsen, Aesoy, Rasmussen, Bungum, & Sveberg, 2000), a eficiência do tratamento numa ETAR pode de certa forma ser prejudicada em termos de processos mecânicos, químicos e biológicos, uma vez que todos são influenciados pela ocorrência de condições sépticas associadas à corrosão do betão e das partes metálicas e que implicam aumento dos custos de manutenção dos equipamentos, aumento dos consumos de químicos e energia, diminuição da eficiência do tratamento e, conseqüentemente, aumento dos custos com a deposição final das lamas (Antunes, 2006).

Quando a presença dos odores é permanente (trabalhadores das ETAR`s), as conseqüências passam a ter efeitos na saúde ocupacional. Estes efeitos compreendem dores de cabeça, náusea, irritação dos olhos e garganta, tosse, dificuldade respiratória, danificação do sistema nervoso central ou mesmo morte nos casos extremos (Filipe, 2009).

Todos esses sintomas são resultados da inalação de compostos orgânicos e inorgânicos voláteis, ácidos gordos voláteis, cetonas, aldeídos, aminas, etc. Em geral é dada atenção especial ao formaldeído e compostos orgânicos voláteis totais (TVOC- sigla em inglês)

e também será abordado nesse trabalho os materiais particulados associado aos odores emitidos nas ETAR`s.

### **2.3.7. Legislação aplicável à qualidade do ar e odores**

A poluição do ar ocorre quando a alteração de composição da atmosfera resulta em danos reais ou potenciais. Dentro desse conceito, pressupõem-se a existência de níveis de referência para diferenciar a atmosfera poluída da não poluída. O nível de referência sob aspecto legal é denominado Padrão de Qualidade do Ar.

Segundo (DE MELO LISBOA, BELLI FILHO, JUNIOR, & QUEIROZ, 2002), entre todos os tipos de poluição ambiental, os maus odores estão entre os mais difíceis de regular. Um cheiro desagradável é considerado como algo subjectivo, portanto, legalmente indefinível. Com base neste princípio, as autoridades ficam impedidas de autuar, a não ser que os maus odores causem, simultaneamente outro tipo de poluição reconhecida por lei. Por isso são poucos os países onde há legislação para essa forma de poluição.

A poluição causada por maus odores ainda é desconhecida em muitos países como Moçambique, apesar da preocupação crescente com as várias fontes de poluição ambiental. Muitos países, como Estados Unidos, Holanda, Reino Unido, Áustria, Alemanha, França, Dinamarca e Nova Zelândia elaboraram normas definindo metodologias que permitam quantificar objectivamente a emissão de odores, e relacionar estas emissões com o nível de mal -estar que causam às populações ( (DE MELO LISBOA, BELLI FILHO, JUNIOR, & QUEIROZ, 2002).

Portanto, os valores máximos admissíveis (VLE, Valores Limite de Exposição; TLV, Threshold limit Values; PEL, permissible exposure limit; REL, Recommended Exposure Limit), tem como objectivo promover a segurança e saúde do trabalhador. Para agentes químicos como no caso do formaldeído, esses valores limites são expressos como níveis de concentrações ambientais aceitai, sendo estabelecidos como normas por agências reguladoras ou como orientações por grupos de pesquisa ou organizações. (Pina, 2010)

Tabela 6: Limites de exposição ocupacionais do formaldeído estabelecidos pelas principais instituições mundiais (fonte: Pina, 2010)

Organização/Agência	Valores Limite
<b>OSHA</b> (Occupational Safety and Health Administration)	<b>PEL</b> – Permissible exposure limit 0.75 ppm ( <b>TWA</b> ) <sup>1</sup> 2 ppm ( <b>STEL</b> ) <sup>2</sup>
<b>NIOSH</b> (National Institute for Occupational Safety and Health)	<b>REL</b> – recommended airborne exposure limit 0.016 ppm ( <b>TWA</b> ) <sup>1</sup> 0.1 ppm ( <b>C</b> ) <sup>3</sup>
<b>ACGIH</b> (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)	<b>TLV</b> – Threshold limit value 0.3 ppm ( <b>C</b> ) <sup>3</sup>

<sup>1</sup> **TWA** (time-Weighted average): concentração média do agente químico no ar que não deve ser excedida durante jornadas diárias de trabalho de 8 horas (OSHA) / 10 horas (NIOSH) e 40 horas semanais.

<sup>2</sup> **STEL** (short-term exposure limit): concentração máxima do agente químico no ar que não pode ser excedida durante 15 minutos ao longo do turno do trabalho

<sup>3</sup> **C** (ceiling limit): concentração do agente químico no ar que nunca deve ser excedida durante qualquer período de exposição, mesmo momentaneamente.

Segundo (Almeida, 1999), a EPA estabeleceu padrões nacionais de qualidades do ar ambiente dos quais são apresentados na tabela dos anexos.

Tendo em consideração que, no vigente trabalho não foi possível medir cada composto orgânico volátil de forma específica, devido ao equipamento usado nas medições, assume-se que, não existe uma legislação que trate dos valores mínimos e máximos admissíveis dos TVOC para um ar externo.

### 2.3.8. Avaliação dos odores

Para (Gostelow, 2001.), os odores podem ser medidos através da concentração, intensidade, carácter e Hedonicidade. A concentração e a intensidade podem ser avaliadas por métodos analíticos. Porém, a intensidade também pode ser avaliada por

métodos sensoriais, assim como a Hedonicidade. Já a análise da característica é realizada associando o odor com outro cheiro conhecido.

Incluem-se nos métodos analíticos os modelos matemáticos de dispersão, que consideram parâmetros ambientais como a temperatura, pressão, humidade relativa, velocidade e direcção dos ventos, além da duração do episódio. Outro método analítico consiste na medição de odor utilizando nariz electrónico.

Já os métodos físicos-químicos consistem em pesquisar e quantificar os elementos químicos presentes na atmosfera.

As análises olfatómicas ou sensoriais são realizadas através de levantamentos psicofisiológicos, que relacionam o funcionamento entre os mundos físico e psíquico (mental), buscando estabelecer os meios para evidenciar as relações existentes entre os estímulos físicos provocados pelo ambiente e sensações humanas (Simon, 1992).

#### **2.4. Transportes de poluentes na atmosfera**

O estudo da dispersão de poluentes na atmosfera leva em consideração diversos factores. Entre os mais importantes estão a velocidade média e direcção do vento, insolação, grau de estabilidade da atmosfera, temperatura, relevo, características das fontes poluidoras e gases emitidos. Isto torna o processo de cálculo das dispersões atmosféricas, extremamente complexo (Mandu, 2010).

Além das condições topográficas, os principais factores que governam a dispersão de poluentes estão relacionados aos factores meteorológicos. Dessa forma, mesmo que uma emissão de poluentes permaneça constante, a qualidade do ar pode variar em função das condições meteorológicas.

A dinâmica atmosférica e os seus fenómenos obedecem a uma escala de movimento de acordo com o raio horizontal do campo físico estudado. Dentro de cada escala, existe a ocorrência de determinados fenómenos atmosféricos.

Tabela 7: Escalas de movimento e fenômenos associados. Fonte: (Mandu, 2010)

Escala de movimento	Raio geográfico	Tempo de duração	Fenómeno meteorológico
Macro escala	>10 Km	Semanas e meses	Circulação atmosférica, frentes climáticas, sistemas de alta e baixa pressão, furacões
Meso escala	10-100 Km	Horas a dias	Brisas marítimas, ventos de vales, ilhas de calor em centros urbanos
Micro escala	<10 Km	Minutos	Comportamento da pluma

A difusão e o transporte dos poluentes ocorrem na parte mais baixa da atmosfera, denominada camada limite planetária (CLP), localizada na troposfera. Esta delimitação, que pode chegar a 2000 m acima do nível do mar, é onde ocorrem as trocas verticais de momento, calor e mistura de massas de ar, sofrendo mais com os efeitos oriundos da superfície (Zannetti, 1990).

O movimento dos poluentes atmosféricos na troposfera pode ter sentido horizontal ou vertical. O primeiro é governado principalmente pelos ventos dominantes. Se estes são activos ou tem força suficiente, os contaminantes apresentam poucas possibilidades de acumular-se antes de serem dispersados.

As montanhas, colinas, plantas e inclusive edifícios circundantes de uma grande cidade diminuem a velocidade dos ventos e os desviam, minorando horizontal do ar.

Com o movimento horizontal limitado, a dispersão dos contaminantes atmosféricos passam a depender do movimento vertical do ar. O movimento vertical do ar é governado pelo perfil de temperaturas da troposfera. Normalmente, a temperatura diminui com a altura.

As condições meteorológicas podem causar uma inversão no esquema normal de variação da temperatura na troposfera. O resultado é a formação de uma capa de inversão. O efeito resultante é a colocação de uma massa de ar frio por baixo de outra

de ar mais quente. A presença de uma capa de inversão impede a circulação atmosférica vertical, já que o ar mais frio não pode ascender através da capa de inversão conforme mostra a figura 5.

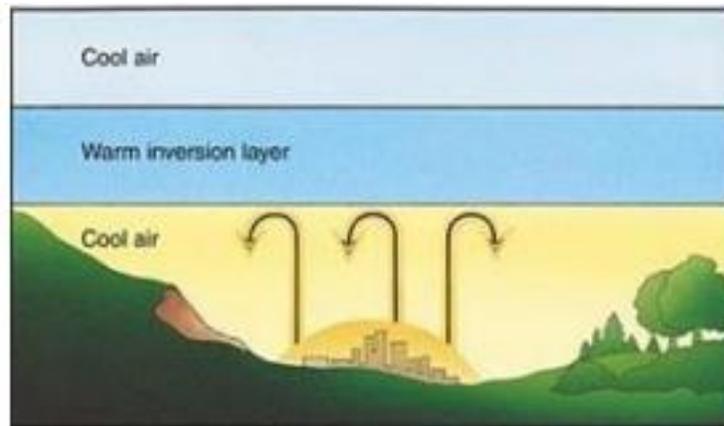


Figura 5: processo de inversão térmica

Fonte: (De Melo Lisboa H. , 1996)

Ao conjunto de factores meteorológicos que determinam o grau de dispersão dos poluentes no ar, associa-se o termo estabilidade atmosférica. Em função da intensidade da turbulência atmosférica, o estado atmosférico pode ser classificado em estável, neutro e instável. A dispersão de poluentes no geral, está ligada a forte turbulência.

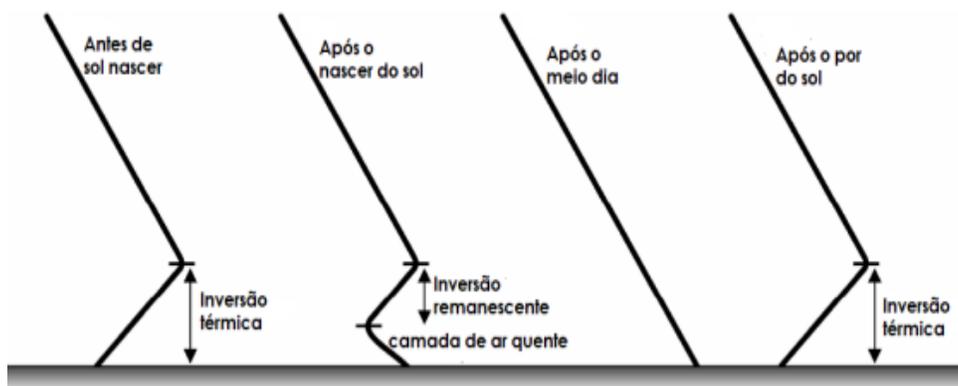


Figura 6: exemplo variação da estabilidade da atmosfera ao longo do dia

Fonte: (De Melo Lisboa H. , 1996)

Em situação normal, pela instabilidade da atmosfera, a mobilidade do ar é diferente de zero, isso favorece a dispersão dos poluentes, o significa que o ar quente fica próximo da superfície e ascende para as camadas superiores por ser menos denso como ilustra a figura 7.

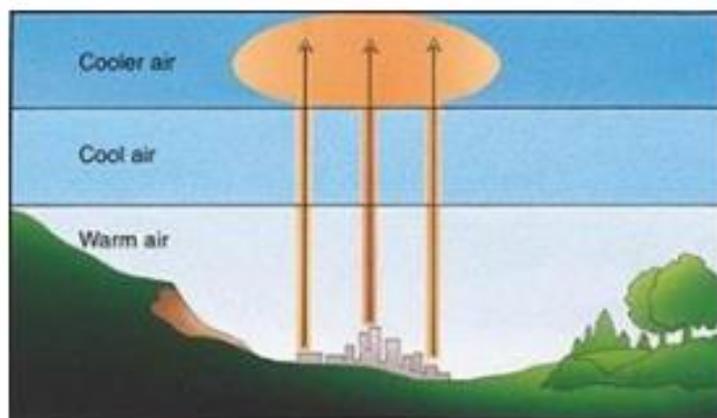


Figura 7: processo atmosférico com ausência da inversão térmica

Fonte: (De Melo Lisboa H. , 1996)

### 3. Caso De Estudo – ETAR Da Cidade De Maputo

#### 3.1. Caracterização do local de Estudo

A ETAR do Infulene fica localizada na cidade de Maputo, no vale do Infulene, próximo do Bairro do jardim, Sul de Moçambique, entre as latitudes 25°55'18" Sul e entre as longitudes 32°32'33" Este. O acesso está situado aproximadamente a 15 metros da estrada para Machava (Av. Eduardo Mondlane).



Figura 8: Localização da estação de tratamento de águas residuais do Infulene

Fonte: extraído pelo autor no Google Earth

O clima do vale do Infulene corresponde ao clima da cidade de Maputo, portanto tropical, com temperatura média anual de 22,8°C e 23,4°C e média mensal entre 19,5°C e 26,3°C, atingindo os picos máximos e mínimo nos meses de fevereiro e julho respectivamente. A humidade relativa média anual varia de 77,9% a 78,1% com uma precipitação média anual entre 964,5 mm e 999,7 mm.

## **4. Parte Experimental**

### **4.1. Material e Métodos**

Para a realização deste trabalho foram feitas medições das concentrações HCHO, TVOC e PM<sub>10</sub> nas fases de tratamento das águas residuais da ETAR do Infulene. E as medições foram indirectas, pois, a amostragem do ar atmosférico é feita a jusante, onde há o vento dominante.

O método foi directo, o qual consistiu no uso de sensores para gases, que por sua vez, são instrumentos que possibilitam a determinação directa de inúmeros compostos gasosos, dentre estes o formaldeído, compostos orgânicos voláteis totais e materiais particulados no ar, as moléculas do gás interagem com a superfície do sensor, gerando informação química medida por um transdutor.

Os sensores expressam benefícios quanto a portabilidade, facilidade de automação, possibilidade de miniaturização e baixo custo. Contudo, os sensores podem apresentar limitações como, por exemplo, a falta de selectividade e baixa detectabilidade. Essas medições foram feitas com um detector de gases (Formaldehyde detector-model-p24381). Este detector, representado na figura 9, mede as concentrações dos três parâmetros químicos referidos anteriormente, incluindo a temperatura e a humidade, porém consoante a necessidade do utilizador.

A sua gama de funcionamento é dos 0 ppm aos 1.999 ppm para o formaldeído (HCHO), dos 0 mg/m<sup>3</sup> aos 9.999 mg/m<sup>3</sup> para TVOC, dos 0 mg/m<sup>3</sup> aos 0.999 mg/m<sup>3</sup> para PM<sub>10</sub>, dos 0 aos 50 graus Celcius para a temperatura e, dos 20 aos 90% para a humidade relativa do ar, que correspondem os seus valores limites. Só de salientar que, a calibração é feita anualmente pelo fornecedor num laboratório creditado. E as medições foram realizadas dentro da ETAR nos processos de tratamento.



Figura 9: Formaldehyde detector (fonte: fotografias tiradas pelo autor)

As medições foram feitas no mês de Maio durante seis dias, de 08/05/2024 a 15/05/2024 no interior da ETAR. A monitorização de parâmetros estudados nesse trabalho, nesse tipo de instalações é bastante recente o que significa que, a informação disponível é muito reduzida. As medições realizaram-se em dois períodos por dia, especificamente das 10 às 11 horas da manhã e das 13 às 14h da tarde, com intuito de observar os valores mínimos e máximos durante os dois períodos do dia.

#### 4.2. Pontos de amostragem

Os pontos seleccionados na estação de tratamento de águas residuais do Infulene, englobam a fase de tratamento preliminar, as lagoas anaeróbias e facultativas da estação. Onde a fase de tratamento preliminar é o ponto 1, seguido das lagoas anaeróbias 1, 2, 3 e 4 que, que representam os pontos 2, 3, 4, e 5 respectivamente. E por fim tem um ponto de encontro, onde todas águas residuais vindas das lagoas anaeróbias encontram-se criando uma bifurcação, esse ponto representa ponto 6 seguido dos pontos 7 e ponto 8 que representam as lagoas facultativas 1 e 2 respectivamente.



Figura 10: A ilustração dos pontos de amostragem

Fonte: imagem extraída no Google Earth pelo autor

### 4.3. Descrição dos pontos de amostragem

#### 4.3.1. Tratamento preliminar

O tratamento preliminar consiste numa sequência de operações unitárias destinadas à remoção de sólidos grosseiros, areias, gorduras e ainda, por vezes, uma equalização dos caudais e de carga poluente. O principal objectivo dessa fase é proteger os órgãos e processos de tratamento seguintes, bem como evitar obstruções dos circuitos hidráulicos e contaminações das lamas, permitindo desta forma, uma maior eficiência da fileira de tratamento.

As operações unitárias possíveis de serem combinadas ao nível de tratamento preliminar são: a gradagem, a equalização, a desarenação e a remoção de óleos e gorduras. A figura 11 mostra o aspecto geral de uma fase de tratamento preliminar.



Figura 11: obra do tratamento preliminar (fonte: fotografia tirada pelo autor)

#### 4.3.2. Lagoas anaeróbias

As lagoas anaeróbias são utilizadas para tratamento de efluentes com elevada carga orgânica e sólidos suspensos em condições de ausência de oxigênio. Geralmente são profundas como explicado anteriormente com área superficial reduzida.

Os sólidos mais pesados decantam no fundo da lagoa, onde sofrem digestão anaeróbia libertando metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido ( $\text{CO}_2$ ) e outros componentes atmosféricos que são abordados nesse presente trabalho. Portanto a ETAR do Infulene possuem 4 (quatro) lagoas anaeróbias das quais foram enumeradas de um a quatro da directa a esquerda de acordo a visão do autor.



Figura 12: ilustração das lagoas anaeróbias (fonte: fotografias tiradas pelo autor)

Tendo em consideração que a estação de tratamento possui quatro lagoas anaeróbias, foram apresentados os resultados e a sua respectiva discussão para cada lagoa de 1 a 4 (LAN 1, LAN 2, LAN 3 e LAN 4) durante todos os dias nos dois períodos.

#### 4.3.3. Ponto de encontro

O ponto de encontro das lagoas anaeróbias é um ponto, onde todas as águas residuais tratadas nas lagoas anaeróbias encontram-se, criando dessa forma uma bifurcação para as duas lagoas facultativas das quais foram enumeradas como um e dois, que são os pontos sete e oito da amostragem.



Figura 13: ponto de encontro onde todas as águas residuais vindas das LAN

Fonte: fotografia tirada pelo autor na área de estudo

#### 4.3.4. Lagoas facultativas

As lagoas facultativas combinam dois processos anaeróbios no fundo da lagoa e aeróbia na superfície da lagoa simultaneamente. Devido à sedimentação de lamas, são geralmente menos profundas em relação às anaeróbias. E as duas lagoas facultativas da ETAR do Infulene medem quatro metros de profundidade.



Figura 14: ilustração da lagoa facultativa (fonte: fotografia tirada pelo autor)

Como explicado anteriormente, existem duas lagoas facultativas na estação de tratamento de águas residuais do Infulene, onde foram enumeradas de 1 e 2, que representam os pontos 7 e 8.

#### 4.4. Correção de unidade

Na análise do formaldeído a unidade obtida foi em ppm. Como as demais unidades trabalhadas foram em  $\text{mg}/\text{m}^3$  verificou-se a necessidade de conversão do mesmo. A conversão de unidade do formaldeído só foi aplicada para o caso dos valores mínimos e máximos encontrados ao longo dos dois períodos do dia. As conversões foram apresentadas no apêndice 3.

## 5. Resultados e Discussão

As medições de parâmetros atmosféricos feitas na ETAR do Infulene visa determinarem quais os pontos de amostragem que mais contribuem com poluição atmosférica odorífica dentro da estação.

Nas medições atmosféricas realizadas na estação, mediram-se as concentrações de HCHO, TVOC e PM<sub>10</sub> na fase de pré-tratamento, nas lagoas anaeróbias e facultativas.

Na ETAR do Infulene existem quatro lagoas anaeróbias das quais possuem oito metros de profundidade, duas lagoas facultativas das quais possuem quatro metros de profundidade e em um ponto onde todas as águas residuais das lagoas anaeróbias se encontram, criando uma bifurcação para as duas lagoas facultativas.

### 5.1. Tratamento preliminar

Abaixo são representadas as concentrações médias do formaldeído (HCHO), compostos orgânicos voláteis totais (TVOC) e materiais particulados (PM<sub>10</sub>) no período da manhã nos seis dias da medição (08/05/2024 a 15/05/2024) na fase de tratamento preliminar.

Observa-se nos perfis do formaldeído um comportamento oscilatório durante os seis dias, verificando-se o aumento e a diminuição das concentrações do mesmo. Essa ocorrência é devido aos factores limitantes dos compostos odoríficos existentes nas águas residuais. Por ser a fase de tratamento preliminar o Antunes (2006) diz que, quanto mais turbulento for o regime de escoamento (nesse caso a chegada das águas residuais), maior é a interface entre o líquido e a atmosfera, potenciando dessa forma a transferência de parâmetros atmosféricos entre as duas fases (Líquida e gasosa). Paralelamente, com o factor temperatura, (Morton e Tudman, 2002 apud Antunes, 2006), dizem que, a temperatura fornece uma indicação da volatilidade relativa dos compostos em solução, dado que a pressão de vapor dos compostos voláteis aumenta com o aumento da temperatura. E esse argumento justifica o aumento das concentrações do formaldeído nos dias 2, 4 e 5, e a diminuição nos dias 3 e 6. Só de salientar que, o dia 3 representa a taxa mínima durante a emissão como mostra a figura 15.

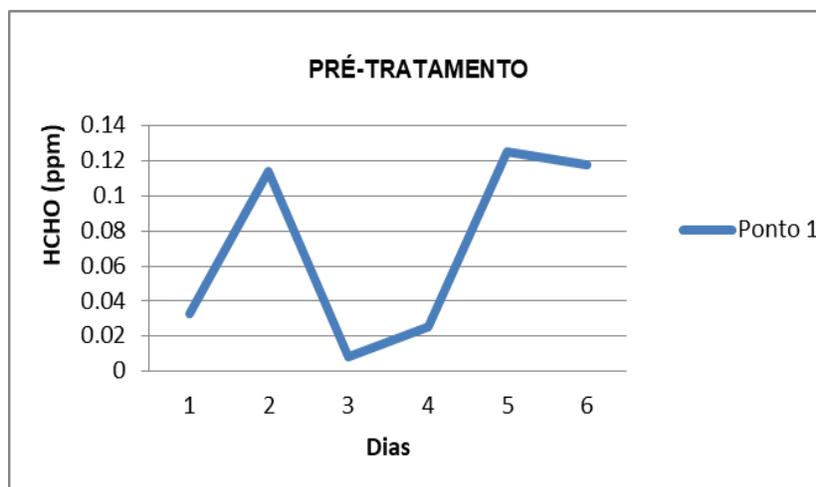


Figura 15: concentrações médias do formaldeído no período da manhã

O perfil dos compostos orgânicos voláteis totais, tende a aumentar em função dos dias conforme a figura 16 ilustra. Por mais que as concentrações sejam menores, numa ETAR por lagunagem, as operações no tratamento preliminar têm tido maior potencial para libertação de parâmetros atmosféricos com carácter odorífico, especialmente em instalações às quais estejam associados a longos sistemas de recolha onde as condições anaeróbias possam ser criadas. Esse aumento dos níveis das concentrações em alguns dias, pode-se explicar pelas condições meteorológicas do local do estudo, pois, quando o poluente atmosférico é emitido passa a ser governado factores meteorológicos como a temperatura que causa o processo de inversão térmica que também contribui com acúmulo de poluentes próximo da superfície terrestre. Só de salientar que, o processo de inversão térmica aplica-se a todos os outros poluentes abordados nesse trabalho para além dos outros poluentes atmosféricos quando emitidos.

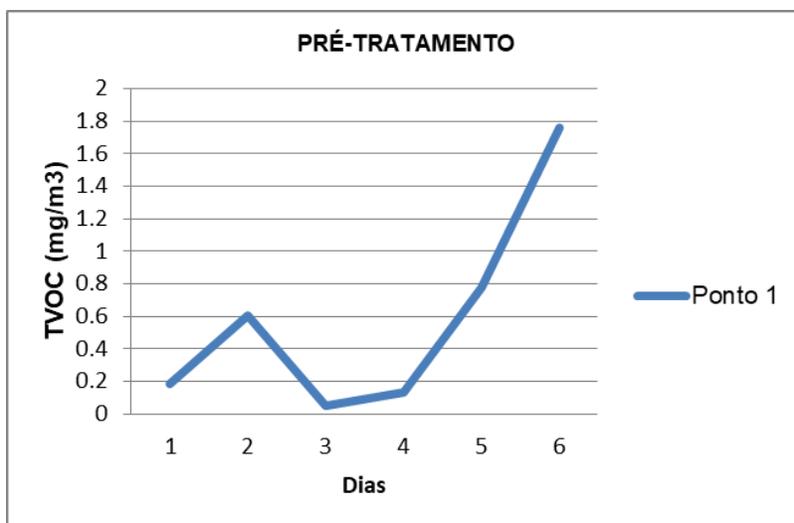


Figura 16: perfis das concentrações médias dos TVOC no período da manhã

A detecção dos materiais particulados na ETAR, especialmente no pré-tratamento assim como nos outros pontos de amostragem, deve-se a entrada de camiões cisterna na estação com o objectivo de descarregar as águas residuais e outros factores que podem ser desconhecidos pelo actor. Sabe-se que, os camiões usam os combustíveis fósseis e isso leva a queima dos mesmos podendo desse modo emitir particulados, só para acrescentar no período da manhã há maior circulação dos veículos principalmente os camiões cisterna.

A figura 17 mostra o perfil dos materiais particulados ao longo dos dias, que a oscilação dos mesmos pode-se explicar com os factores meteorológicos de cada dia da medição dos níveis das concentrações apresentados nos anexos.

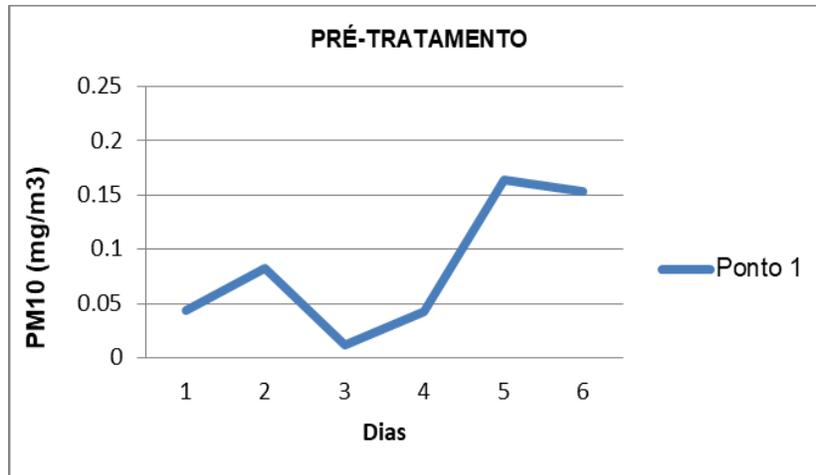


Figura 17: concentrações médias dos materiais particulados no período da manhã

Assim como foram apresentados os perfis das concentrações dos parâmetros atmosféricos no período da manhã, também foram abaixo apresentados os perfis semelhantes no período da tarde durante seis dias (08/05/2024 a 15/05/2024).

Em função da intensidade da turbulência atmosférica no local de estudo, os níveis das concentrações tende abaixar devido a instabilidade atmosférica (natureza da turbulência horizontal e vertical) que favorece a mobilidade dos poluentes emitidos na atmosfera podendo influenciar todos perfis dos níveis das concentrações emitidos no período da tarde como pode se ver nas figuras 18, 19 e 20 comparando com as figuras anteriormente apresentadas, por mais que, em alguns dias se verifique um aumento.

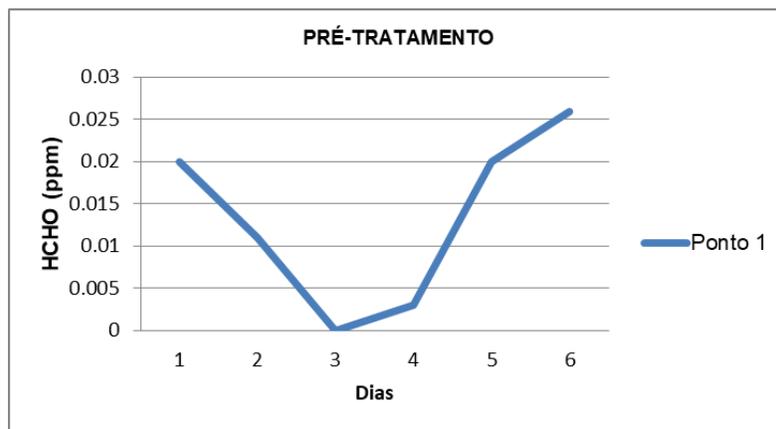


Figura 18: perfil das concentrações médias do HCHO no período da tarde

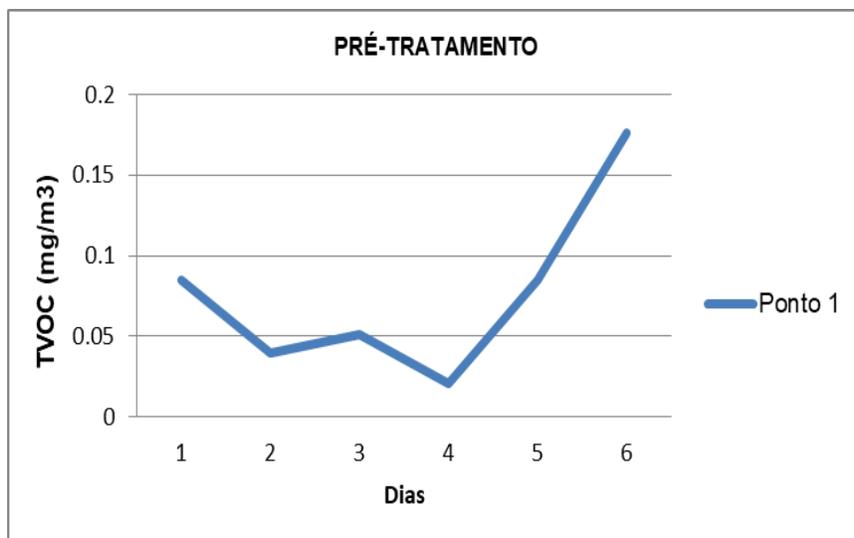


Figura 19: concentrações médias dos TVOC no período da tarde

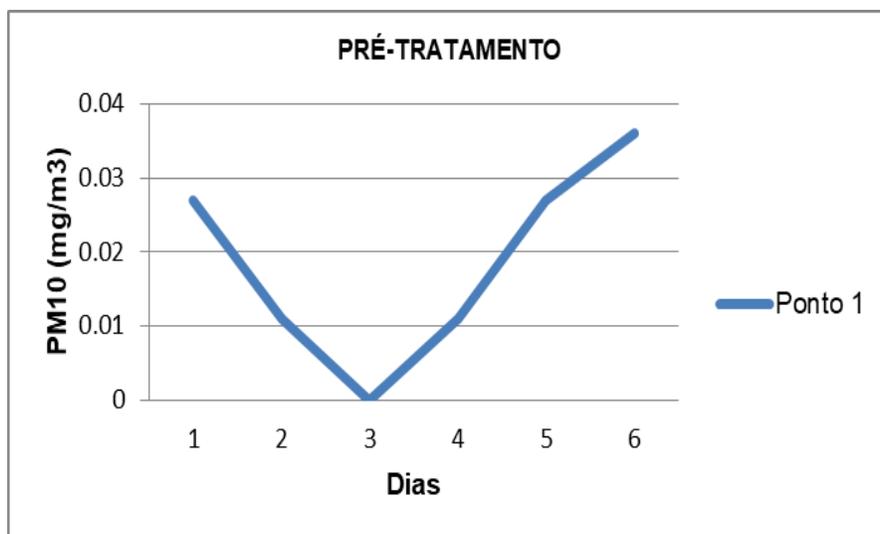


Figura 20: perfil das concentrações dos materiais particulados no período da tarde.

## 5.2. Lagoas anaeróbias

Sabe-se que, com a indisponibilidade de oxigénio nas lagoas favorece a produção e a libertação dos parâmetros atmosféricos odoríficos, que são os subprodutos responsáveis por emissões de maus odores em função da composição das águas residuais diz (filho, 2000), contudo os níveis das concentrações do formaldeído e os compostos orgânicos

voláteis totais condizem com a literatura, só podem ser altos e baixos por causa dos factores que governam a atmosfera, isto é, a temperatura, a velocidade e direcção do vento. Esses factores meteorológicos são bastantes influentes na perspectiva de dispersão dos poluentes atmosféricos. Para (De Melo Lisboa H. , 1996), os movimentos verticais, horizontais e a turbulência atmosférica são responsáveis, a partir do instante da emissão, pelo transporte do poluente e a sua dispersão. O estudo feito por (ASCE/WEF, 1995) indica que, nas lagoas anaeróbias tem maior potencial como na fase de pré-tratamento de libertação de odores pela decomposição da matéria orgânica e outros factores associados e o mesmo verifica-se nas lagoas facultativas com menor ocorrência.

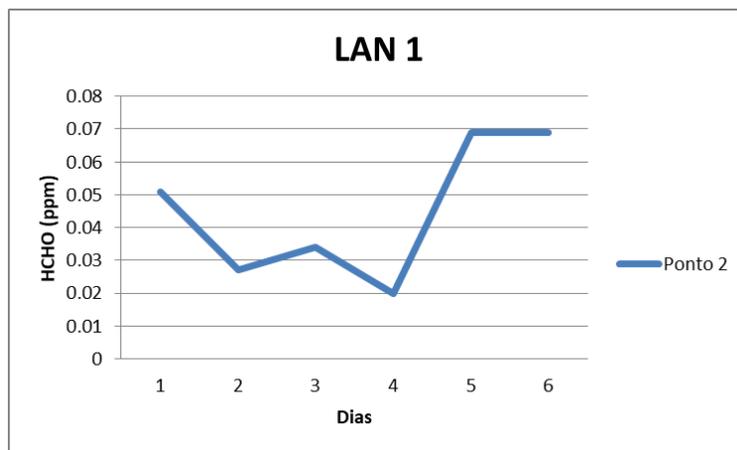


Figura 21: perfil das concentrações médias do formaldeído no período da manhã

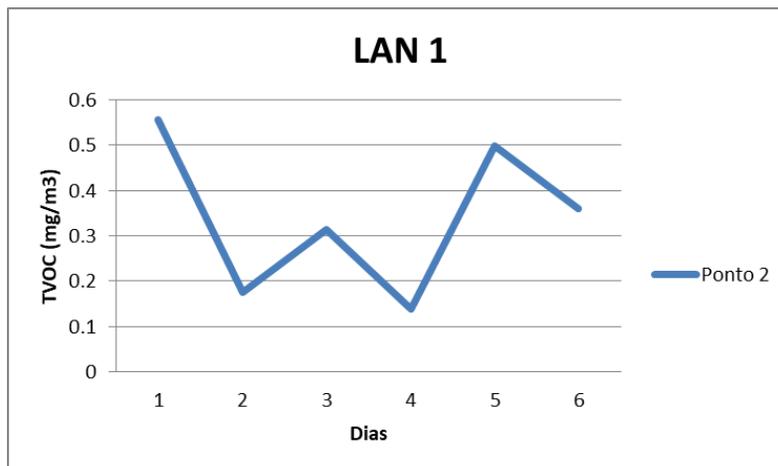


Figura 22: perfil das concentrações dos TVOC no período da manhã

Os materiais particulados nas lagoas anaeróbias, tendem a aumentar de acordo a figura abaixo apresentado, isso justifica-se pela acumulação dos poluentes nas baixas da camada limite planetária, influenciado pelas condições meteorológicas. A primeira detecção foi tão elevada que ao longo dos dias foi decrescendo até um certo dia, especificamente o quarto dia. A baixa emissão dos materiais particulados também pode ser pela razão de menor fluxo de camiões cisterna na estação.

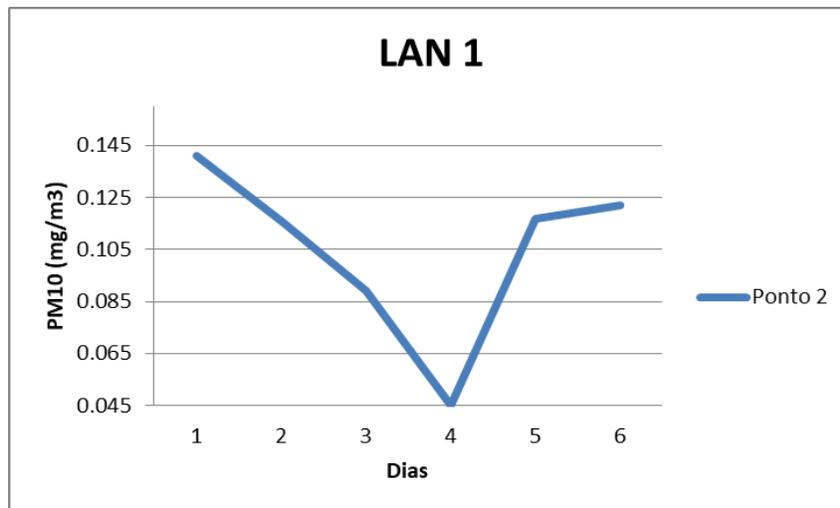


Figura 23: perfil dos materiais particulados no período da manhã

Os perfis dos parâmetros atmosféricos também foram apresentados no período da tarde durante seis dias (08/05/2024 a 15/05/2024).

As figuras abaixo mostram o quão grande, os factores meteorológicos (a direcção e a velocidade do vento, a temperatura) e as condições anaeróbias influenciam na emissão dos parâmetros para atmosfera, o pico das concentrações foi considerável observando as figuras de formaldeído no período da manhã e da tarde. O mesmo se verifica nos outros dois parâmetros atmosféricos, há dias que os níveis das concentrações apresentam uma elevação significativa nos dois períodos do dia.

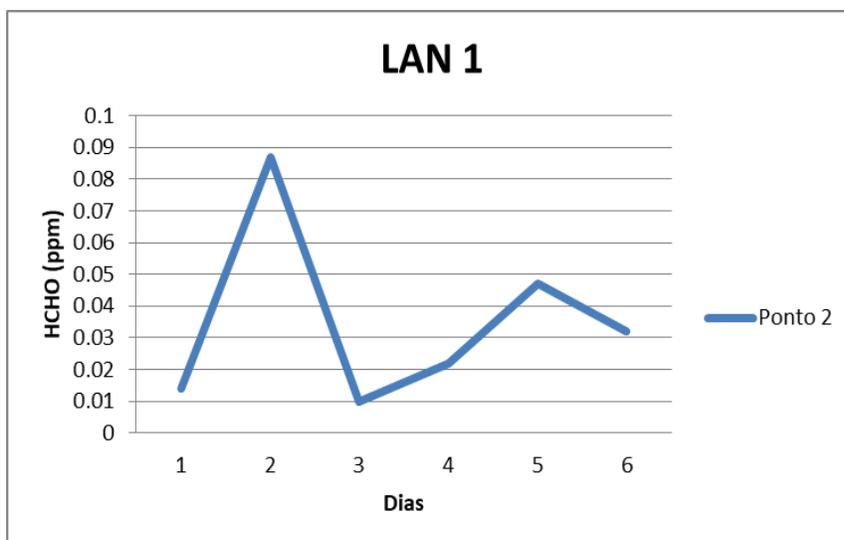


Figura 24: perfil das concentrações médias do formaldeído no período da tarde

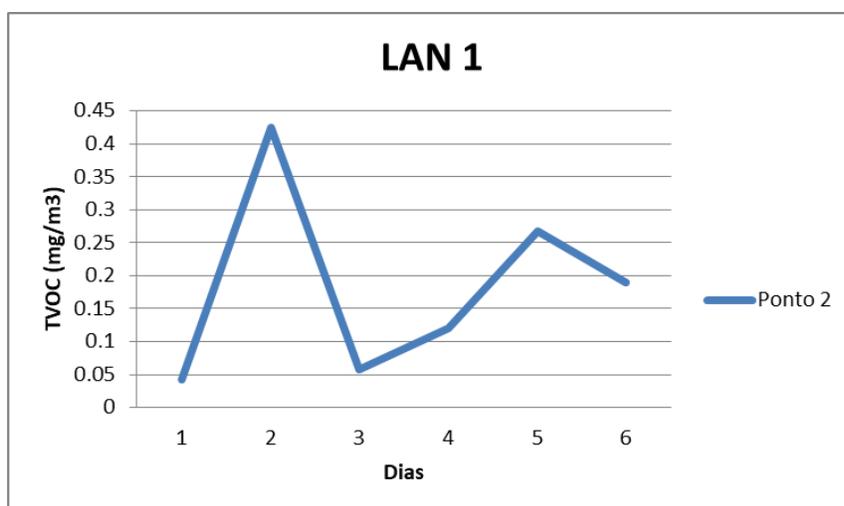


Figura 25: perfil das concentrações médias dos TVOC no período da tarde

Observando o perfil das concentrações médias dos materiais particulados na figura 26, pode se verificar uma diminuição do nível da emissão em quase todos os dias comparativamente com o período da manhã, isto significa que houve mais emissão no período da manhã do que no período da tarde.

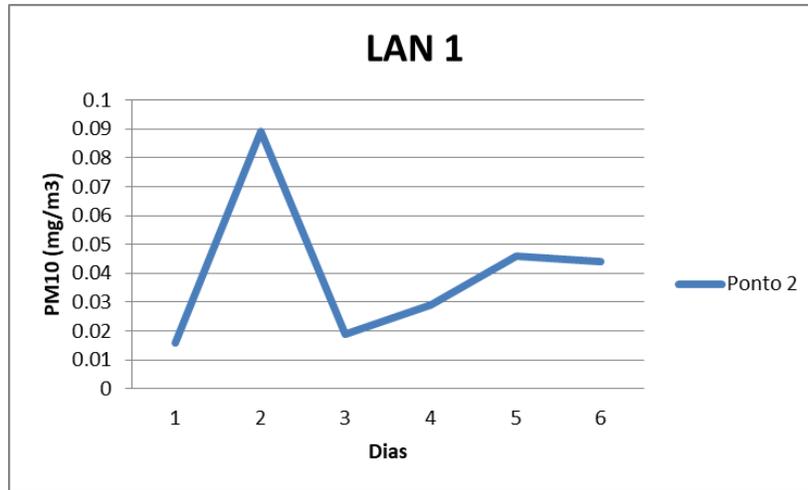


Figura 26: perfil das concentrações dos materiais particulados no período da tarde

É importante notar que as emissões de formaldeído na LAN 2 ao longo dos dias mantêm a mesma relação, embora as concentrações serem minimamente diferentes. Isto pode se explicar pelo facto de, a matéria orgânica estar a diminuir ao longo do dia e dos dias da medição, sem esquecer dos grandes factores que influenciam significativamente os poluentes atmosféricos após a sua emissão como a direcção e a velocidade dos ventos e a temperatura. Os factores acima mencionados, pode de alguma forma ter influenciado o comportamento do perfil dos compostos orgânicos voláteis totais como mostra nas figuras 27 e 28, atendendo que, a amostragem do ar atmosférico foi feita a jusante para todos os pontos de medição de concentrações, onde há vento dominante.

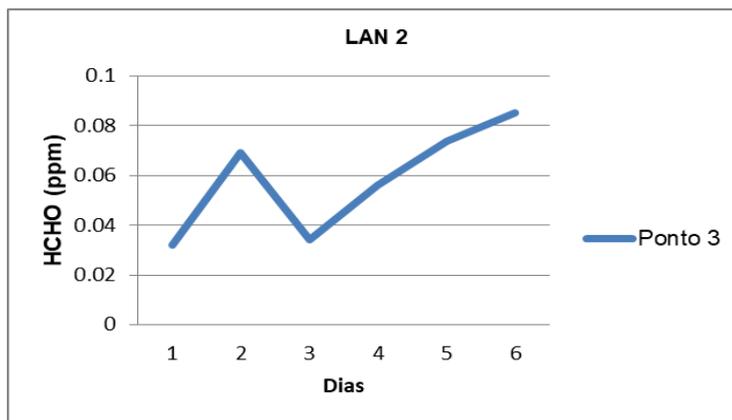


Figura 27: perfil das concentrações médias do HCHO no período da manhã

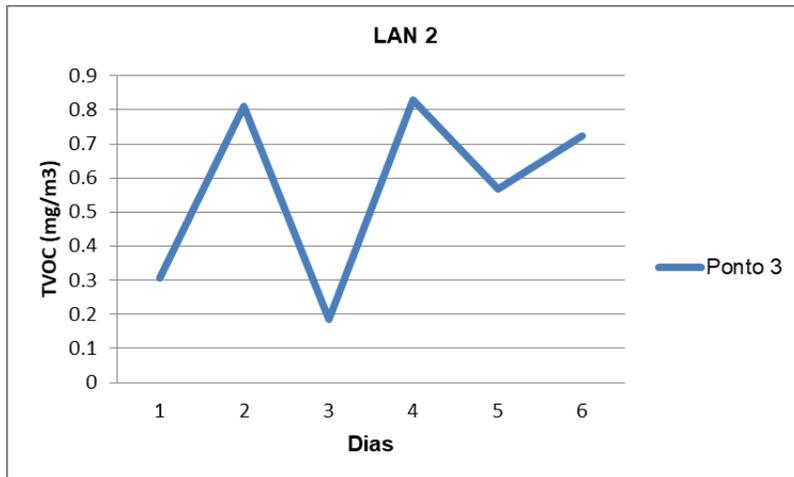


Figura 28: perfil dos TVOC no período da manhã na LAN 2

O perfil dos materiais particulados no período da manhã na LAN 2, mostra um comportamento similar com o do período da manhã da LAN 1 onde as concentrações médias não muito distante como mostra a figura 29. Os factores meteorológicos, os mais citados nesse trabalho, foram os que mais influenciaram nos níveis da detecção dos materiais particulados. Tendo também em consideração a circulação dos veículos no mesmo período principalmente os camiões cisterna. Só de salientar que, os factores meteorológicos são grande causadores de imprecisão na medição das concentrações dos parâmetros em estudo.

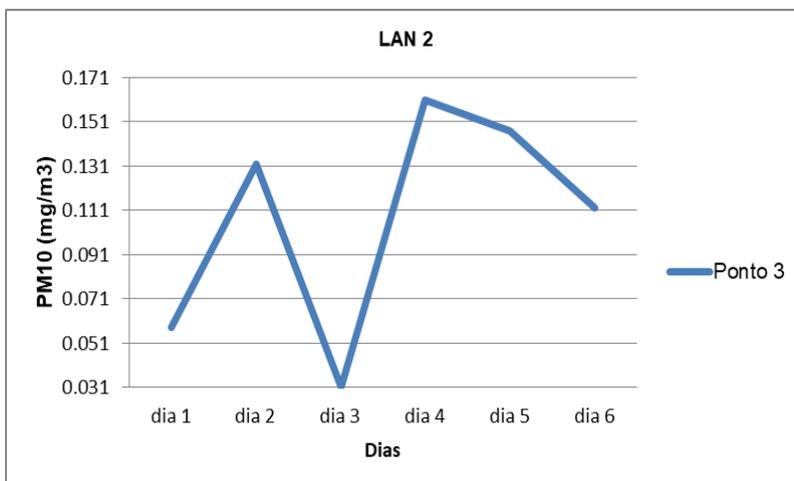


Figura 29: perfil das concentrações médias dos PM10 no período da manhã

Observando as figuras da fase do pré-tratamento e LAN 1 (18, 19, 20, 24, 25, 26) do período da tarde respectivamente, verifica-se um perfil semelhante comparando com os perfis das figuras 30, 31 e 32 da LAN 2, onde os níveis das concentrações tendem a diminuir e esse facto deve-se não só das condições anaeróbias em que as águas residuais são expostas mas também das condições climáticas da região do estudo como mostrado nos anexos na tabela 2, que ilustra a direcção e velocidade dos ventos, a temperatura e outras condições, condições essas que determinam o destino dos poluentes atmosféricos após a sua emissão.

A taxa de emissão dos parâmetros em estudo, tendem a aumentar nos períodos da tarde pelo facto de, as condições atmosféricas serem estáveis durante o dia todo, isto é, baixa temperatura, menor velocidade dos ventos e outros factores que favorecem o confinamento dos poluentes atmosféricos. O aumento dos níveis das concentrações no período da tarde verificou-se quase em todos pontos de amostragem.

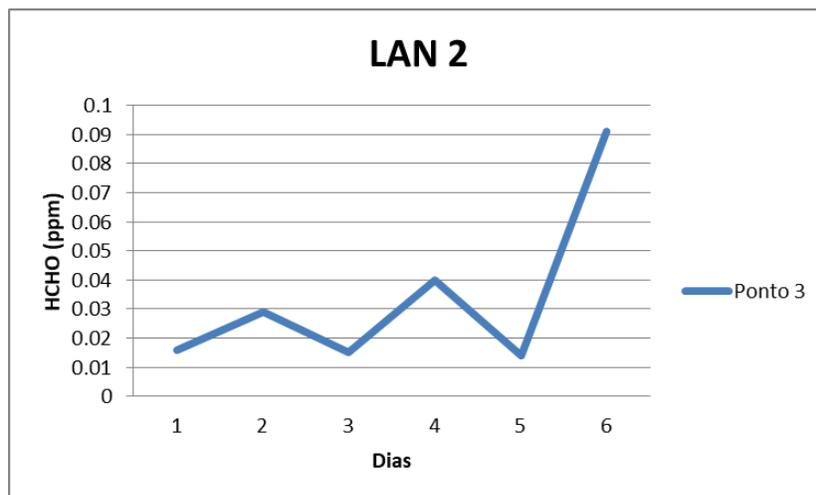


Figura 30: perfil das concentrações do HCHO no período da tarde

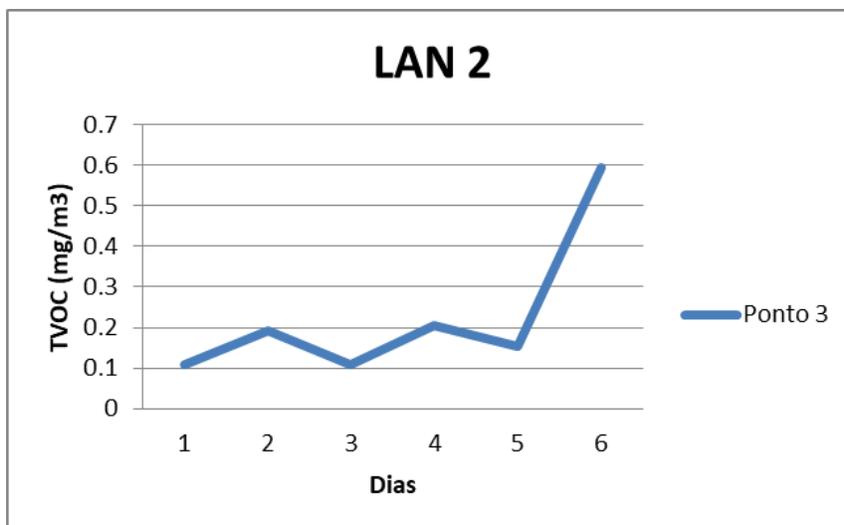


Figura 31: perfil das concentrações médias dos TVOC no período da tarde.

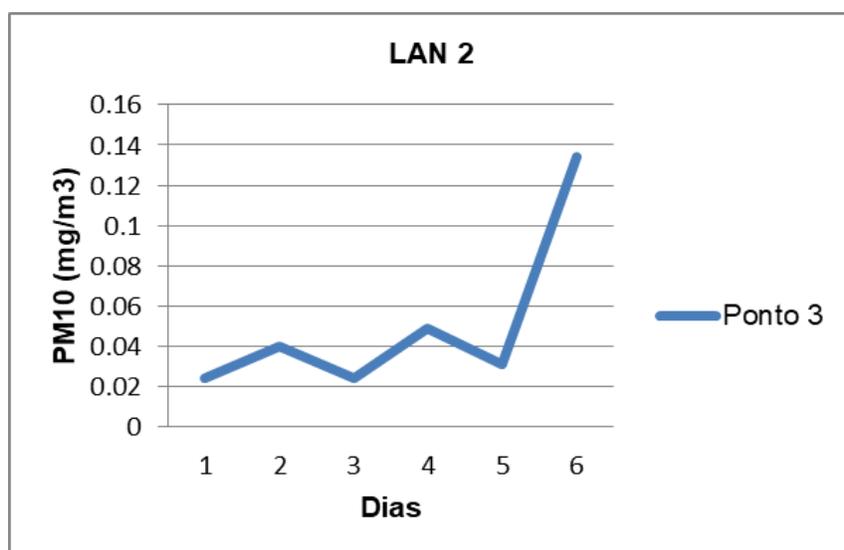


Figura 32: perfil das concentrações dos materiais particulados no período da tarde

As atmosferas gerais na lagoa anaeróbia 4, figuras 33, 34 e 35 do período da manhã apresentam valores de formaldeído, compostos orgânicos voláteis totais e materiais particulados relativamente significativos, atendendo que, de acordo com a NIOSH que é agência que zela o limite das emissões do formaldeído, em alguns dias os valores são excedidos observado na tabela 6 comparando com o gráfico 33 apresentado para melhor ilustração da situação na LAN 4. Assim como os materiais particulados figura 35, pode-

se verificar que os valores do parâmetro são excedidos de acordo com a tabela 1 dos anexos, onde o valor máximo da emissão é de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  em 24h, o que significa que em uma hora corresponde a  $6,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . E conforme a figura 35, pode se notar o valor máximo da concentração emitido é de aproximadamente  $0.35 \text{ mg}/\text{m}^3$  que corresponde cerca de  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  por hora.

Portanto, as emissões das concentrações de materiais particulados excedem os limites estabelecidos pela legislação ambiental em alguns dias, e esse facto pode ser levado em consideração para a realização de vários estudos relacionados com a monitorização dos poluentes atmosféricos libertados na estação de tratamento de águas residuais do Infulene. Quanto aos factores que mais influenciam na emissão são já conhecidos no decorrer do trabalho.

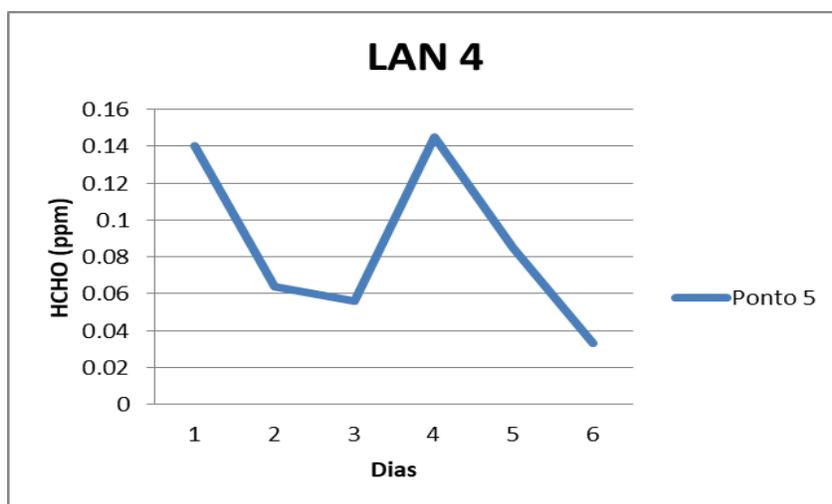


Figura 33: perfil das concentrações de HCHO no período da manhã

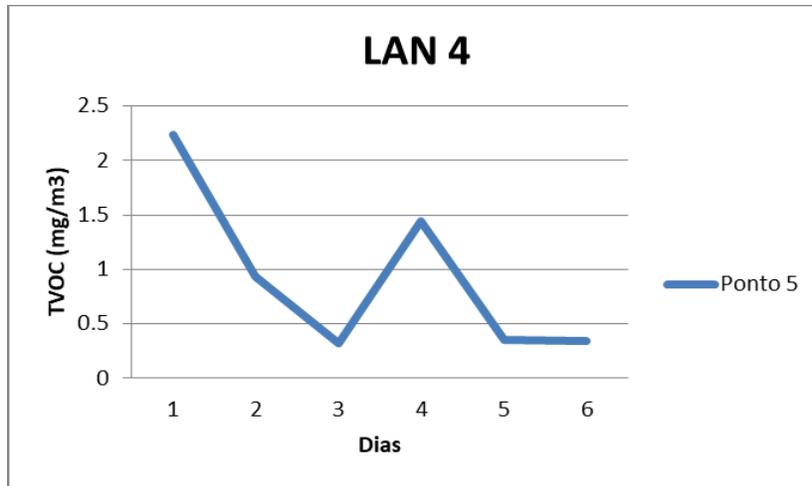


Figura 34: perfil das concentrações dos TVOC no período da manhã

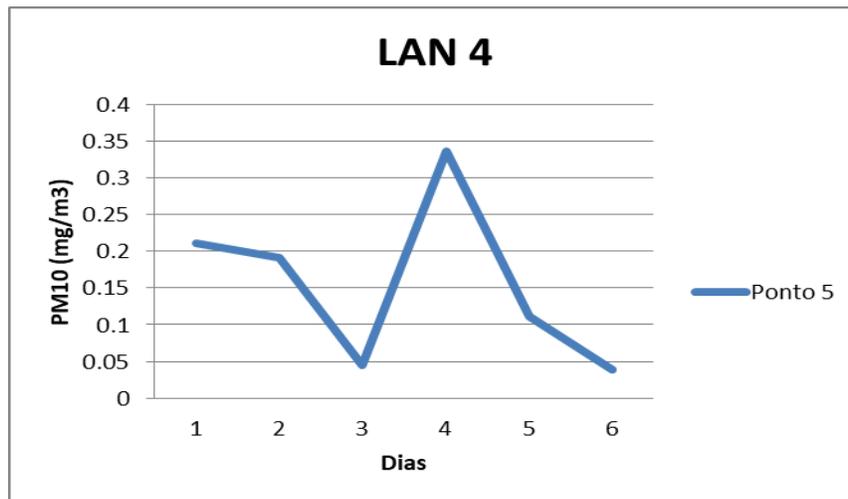


Figura 35: perfil das concentrações médias dos PM10 no período da manhã

No período da tarde, as emissões têm sido bastante influenciadas pela instabilidade atmosférica, que origina de certa forma, um regime turbulento das condições meteorológicas que participam directamente na baixa ou elevação dos níveis das concentrações dos parâmetros para cada sector de amostragem.

Como pode se observar nas figuras 33 e 36 com suas concentrações máximas respectivamente, e as concentrações tendem a ser diferentes todos os dias da medição. Sucessivamente se verifica nas figuras 34 e 37, por fim nas figuras 35 e 38 onde se

observa uma concentração máxima aproximadamente  $0.35\text{mg/m}^3$  e  $0.13\text{mg/m}^3$  respectivamente.

De qualquer forma, há momento de exceção, onde as concentrações tendem a aumentar nos períodos da tarde, por razões da estabilidade atmosférica, que origina um regime laminar dos factores meteorológicos durante todo dia, e esse regime favorece o confinamento dos poluentes atmosféricos na baixa atmosfera.

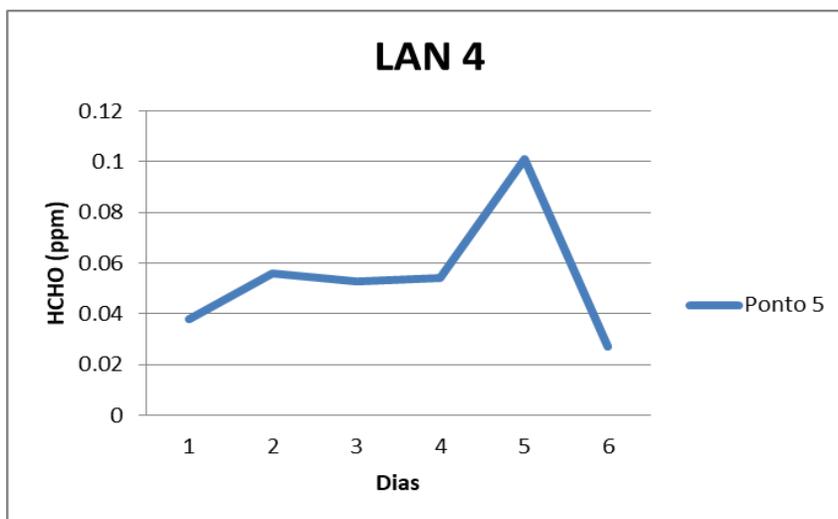


Figura 36: perfil das concentrações do HCHO no período da tarde

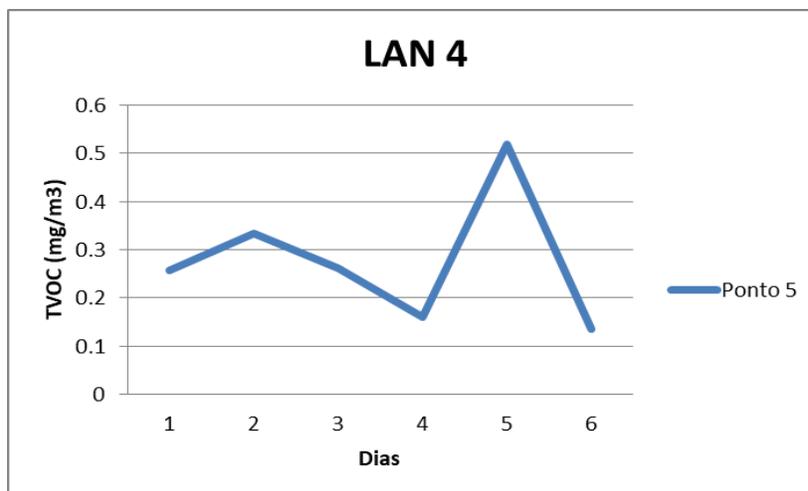


Figura 37: perfil das concentrações dos TVOC no período da tarde

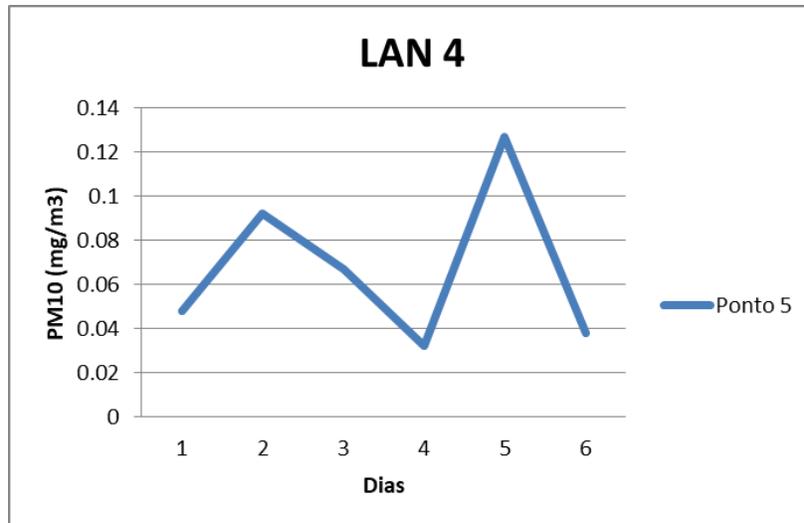


Figura 38: perfil das concentrações médias dos PM10 no período da tarde

### 5.3. Ponto de encontro

Partindo do pressuposto de que, o ponto de encontro é onde todas as águas residuais minimamente tratadas nas LAN se encontram, potenciando assim uma maior interface entre a fase líquida e a atmosfera. Observando as figuras 39, 40 e 41, constatou-se que, que os níveis de concentrações dos três parâmetros estudados foram significativamente emitidos comparando com os pontos anteriormente discutidos, onde foram detectados os maiores níveis de concentrações, desde do formaldeído, compostos orgânicos voláteis totais, e dos materiais particulados.

O seu aumento durante o período da manhã, pode se justificar pelos factores anteriormente abordados, para além de considerar que a atmosfera é um compartimento da biosfera sem limite, o que pode permitir a detecção elevada dos níveis dos parâmetros em análise. Atendendo para os valores limites de exposição, o formaldeído teve uma concentração média máxima de 0.333 ppm que corresponde Ceiling limit (concentração do agente químico no ar que nunca deve ser excedida durante qualquer período de exposição, mesmo momentaneamente), isto de acordo com ACGIH (ver a tabela 6). (Pina, 2010). Do mesmo modo, os materiais particulados detectados no ponto de

encontro, mostraram-se excessivo em alguns dias com  $0.35 \text{ mg/m}^3$  que corresponde a  $350 \text{ }\mu\text{g/m}^3$  por hora. Na normalidade, teria de ser  $150 \text{ }\mu\text{g/m}^3$  por 24h.

Para os compostos orgânicos voláteis totais, não foram encontrados valores limites de exposição, contudo, sabe-se dos seus efeitos a saúde, como a perda de capacidade de perceber ou sentir a existência de odores, quando a exposição for frequente, só para acrescentar os compostos orgânicos voláteis são carcinogénicos como é o caso de formaldeído (Meyer, 2018).

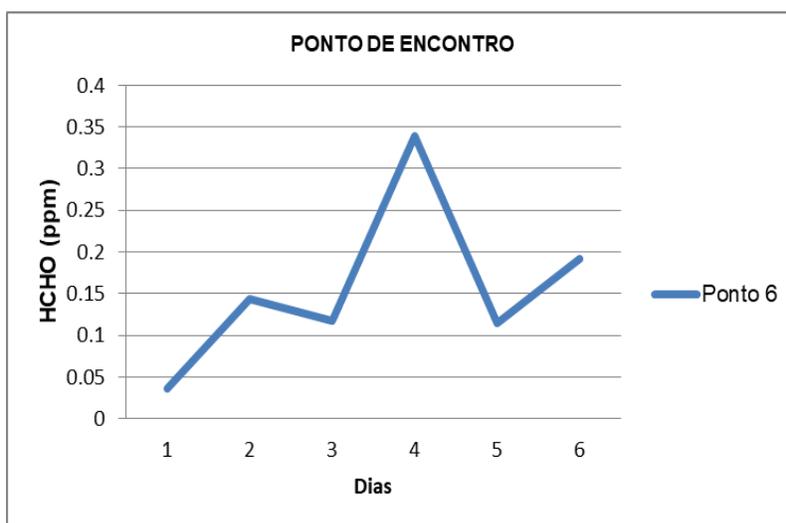


Figura 39: perfil das concentrações do HCHO no período da manhã

Os compostos orgânicos voláteis totais como parâmetros que mais são emitidos de uma forma acentuada em todos pontos de amostragem, menos em alguns dias nos períodos da tarde, nesse ponto, são muito notáveis. As concentrações dos TVOC, como pode se ver no gráfico, aumentam nos dias 2, 4 e 6, a sua diminuição é brusca no 3 e ligeiramente no dia 5 conforme mostra a figura 40.

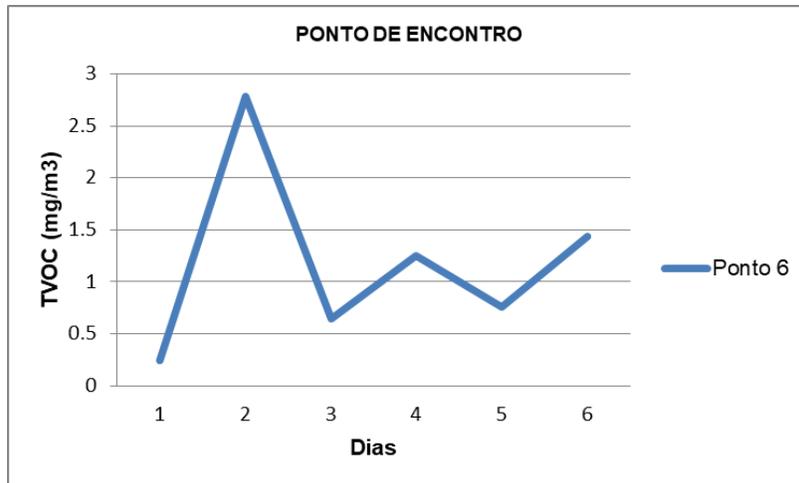


Figura 40: perfil das concentrações médias dos TVOC no período da manhã



Figura 41: perfil das concentrações médias dos PM10 no período da manhã

O período da tarde no ponto de encontro, os níveis da emissão foram similares comparativamente às emissões dos outros pontos anterior e posteriormente abordados, apresentando os níveis reduzidos ao longo dos dias. Mesmo com decaimento dos níveis das concentrações dos três parâmetros em estudo nesse trabalho, as concentrações máximas do formaldeído e dos materiais particulados em alguns dias da medição, mostraram-se fora dos padrões estabelecidos por algumas agências de controlo desses parâmetros e isso verifica-se nas figuras 42 e 44. Como já havia mencionado anteriormente que não foram encontrados valores limites dos compostos orgânicos voláteis totais.

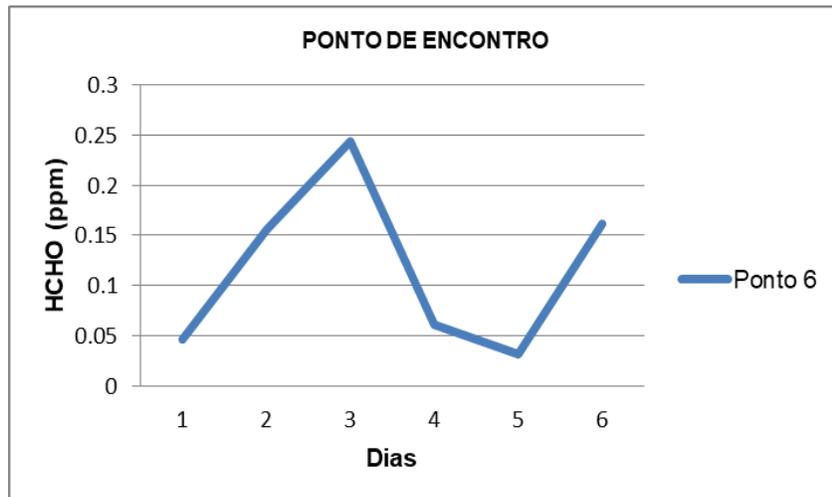


Figura 42: perfil das concentrações médias do HCHO no período da tarde

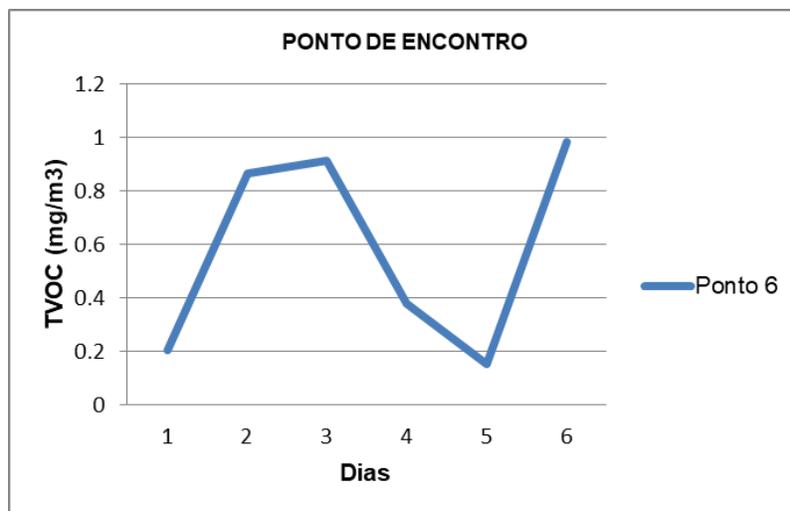


Figura 43: perfil das concentrações dos TVOC no período da tarde

Os materiais particulados mostraram um perfil de um aumento ligeiro no dia 3 e decaimento ligeiro no 4, quanto aumento, verificou-se no dia 6. Como ilustra a figura 44, o nível de emissão diminui no dia 5.

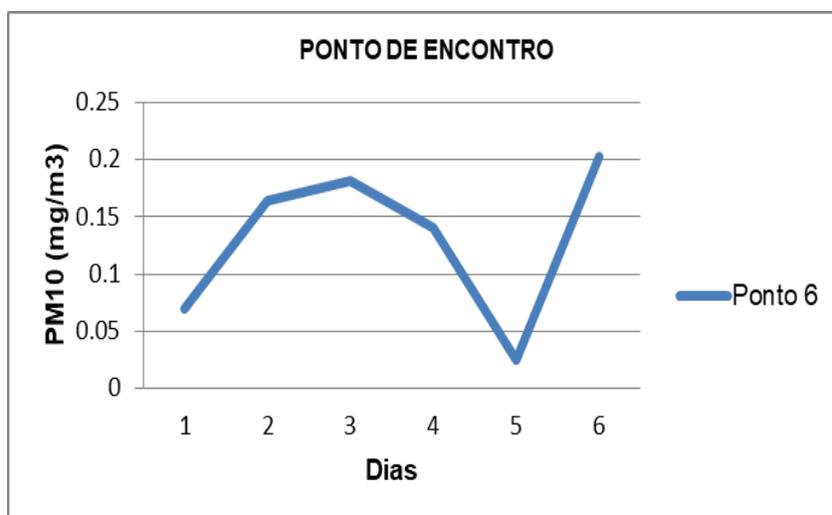


Figura 44: perfil das concentrações médias dos PM10 no período da tarde

#### 5.4. Lagoa facultativas

Nas lagoas facultativas a matéria orgânica existe em pouca quantidade devido aos processos que ocorreram nas lagoas anaeróbias, dado que as emissões gasosas dos parâmetros medidos, tiveram baixas concentrações no período da manhã assim como o período da tarde. Não só se justifica pela baixa quantidade da matéria orgânica como também os factores climáticos da região como foi referido anteriormente.

Nas lagoas facultativas de acordo a literatura, tem-se verificado as emissões gasosas, entretanto, não são tão significativas quanto aos pontos de amostragem. A hipótese não vem anular a existência desses parâmetros, pois, pelo contrário podem ser detectados os parâmetros atmosféricos nas lagoas pela influência da turbulência da atmosfera. As figuras 45, 46 e 47 mostram o comportamento dos níveis das emissões ao longo dos dias.

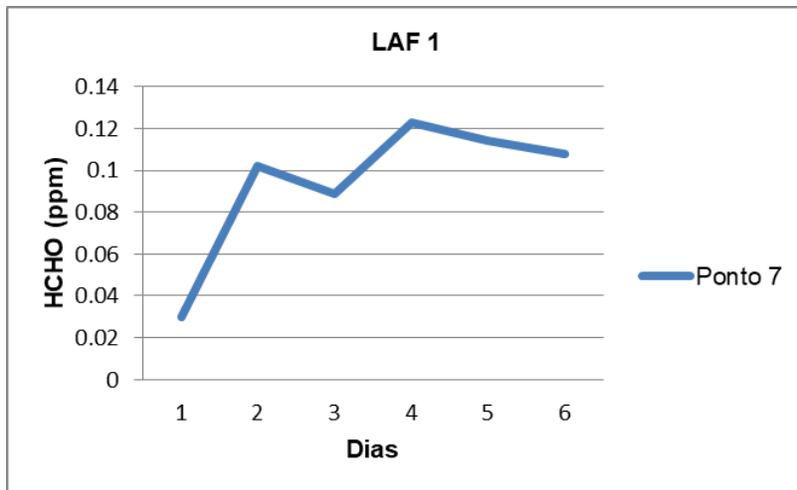


Figura 45: perfil das concentrações médias do formaldeído no período da manhã

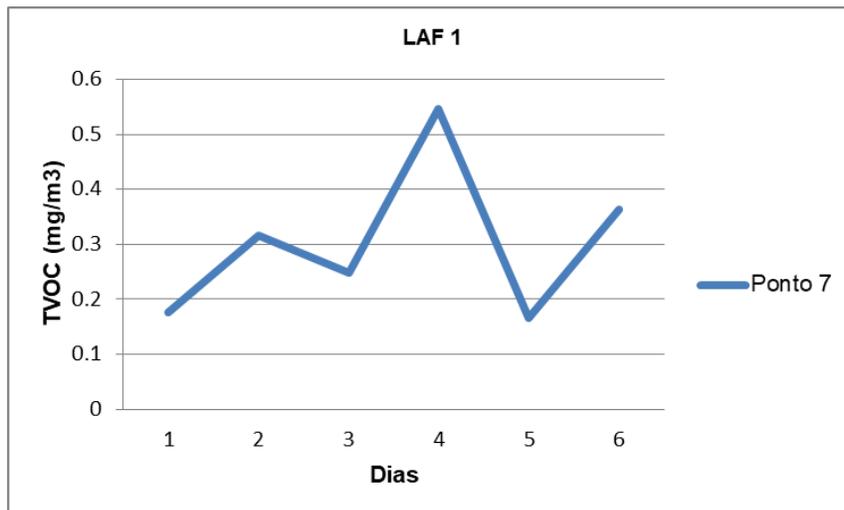


Figura 46: perfil das concentrações médias dos TVOC no período da manhã

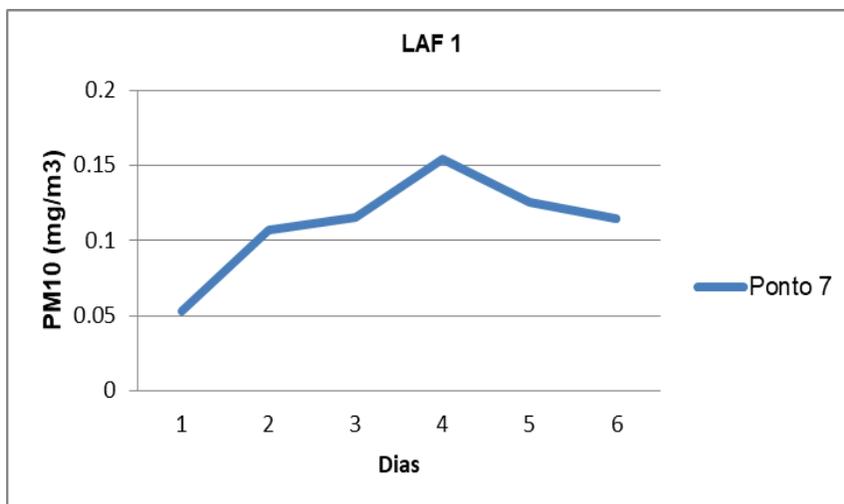


Figura 47: perfil das concentrações médias dos PM10 no perfil da manhã

No período da tarde o comportamento dos níveis das concentrações não foi tão diferente com o período da manhã, onde os níveis tendem a baixar e a subir ao longo dos dias com diferença consideráveis como pode se verificar nas figuras 48, 49 e 50.

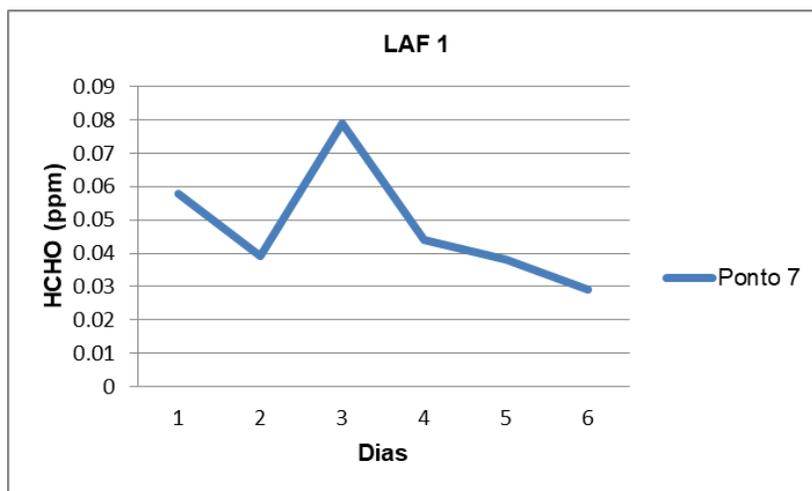


Figura 48: perfil das concentrações do HCHO no período da tarde

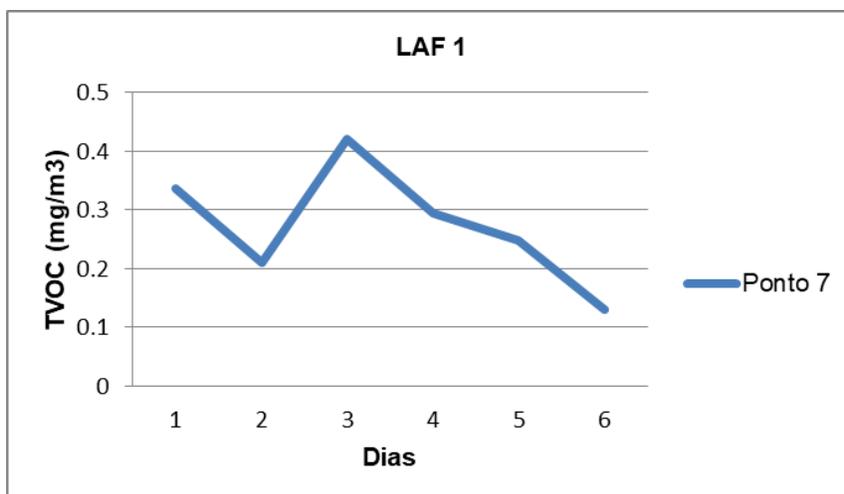


Figura 49: perfil das concentrações médias dos TVOC no período da tarde

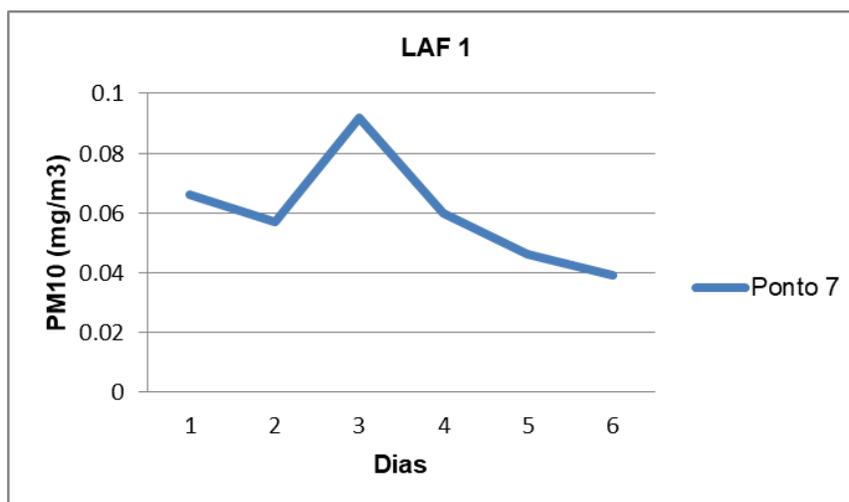


Figura 50: perfil das concentrações médias dos PM10 no período da tarde

### 5.5. Comparação dos perfis nos dois períodos do dia

A comparação dos perfis nos dois períodos do dia, visa observar atentamente em qual dos dois períodos que mais contribui com as emissões gasosas dos parâmetros em estudo na estação de tratamento de águas residuais do Infulene

Na fase de tratamento preliminar, por mais que os valores das concentrações detectadas não sejam maior, o que não era o que se esperava, pode se constatar nas figuras 51, 52

e 53, que o período da manhã sem hesitação foi completamente dominante todos os dias da medição. As razões do domínio das emissões no período da manhã, já ao longo do trabalho vinham sendo explicadas, exactamente nesse ponto de amostragem. A primeira razão é o regime turbulento do escoamento que favorece a interface da fase líquida e a atmosfera, potenciando assim a emissão dos parâmetros atmosféricos com carácter odorífero em estudo. A segunda razão é o comportamento da temperatura que favorece ou desfavorece o confinamento dos poluentes atmosféricos. Os períodos da tarde, os níveis das concentrações mostram-se muito baixas, o que já era o esperado de acordo com a literatura.

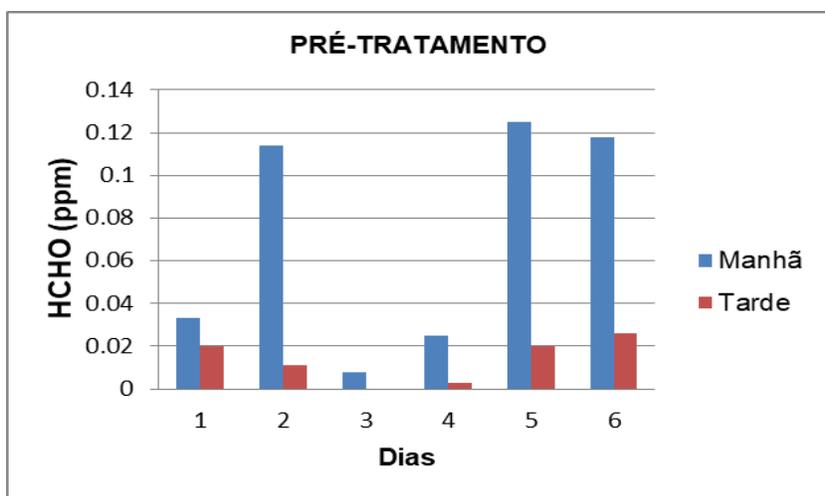


Figura 51: perfis comparativos do formaldeído nos dois períodos

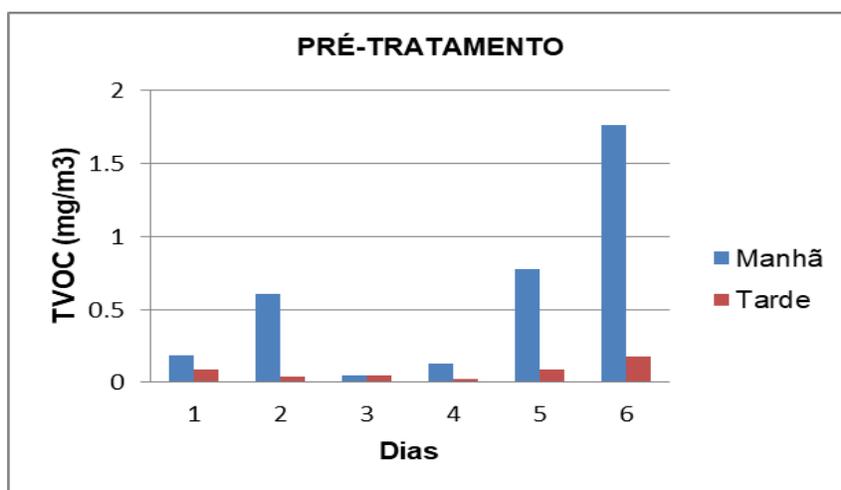


Figura 52: perfis comparativos dos TVOC nos dois períodos do dia

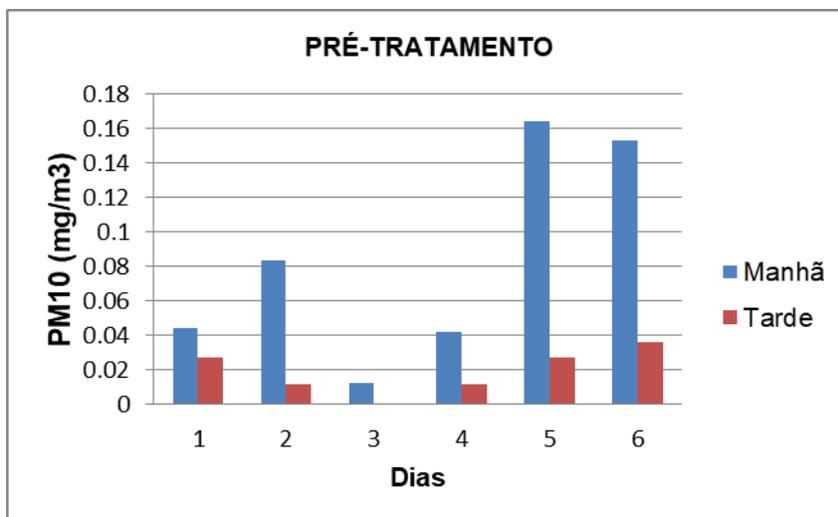


Figura 53: perfis das concentrações médias nos dois períodos do dia

Para a lagoa anaeróbia 1, por mais que, em alguns dias de medição haja um domínio considerável no período da tarde sobre o da manhã, isto não tira o facto de que, o período da manhã ainda ter domínio na emissão das concentrações dos parâmetros, como pode se notar nas figuras 54 e 55 diferente da figura 56 onde o período da manhã domina por completo. Como referido anteriormente que esses perfis eram esperados, pois nas estações de tratamento de águas residuais aumentam as concentrações, estabilizando-se os perfis no período da tarde exactamente as 12h.

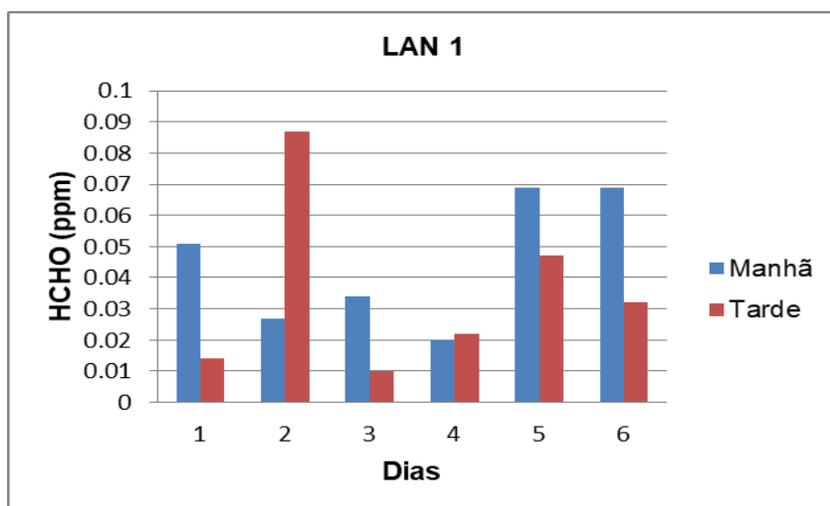


Figura 54: concentrações comparativas do HCHO nos dois períodos do dia

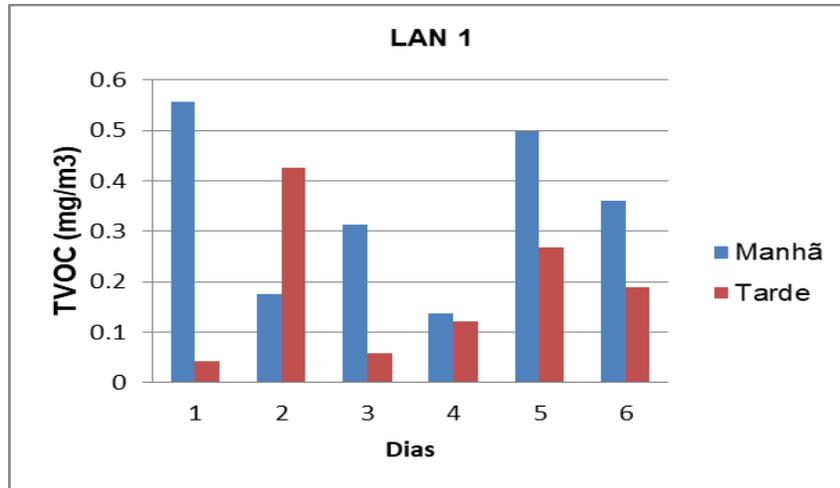


Figura 55: concentrações médias dos TVOC comparativas nos dois períodos do dia

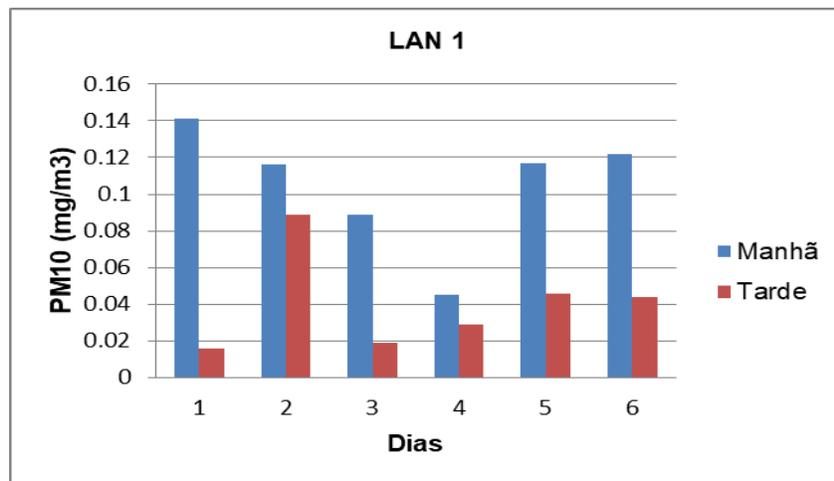


Figura 56: concentrações médias comparativas dos PM10 nos dois períodos do dia

As figuras 57, 58 e 59 mostram um fenómeno similar ao fenómeno que foi descrito na LAN 1, onde o período da manhã tem maior domínio sobre o período da tarde, por mais que existam dias que, se notem uma elevação considerável no período da tarde. Para o formaldeído, só houve um dia de alta emissão no período da tarde. Esses níveis de emissão verificam-se pelo facto de, nas manhãs o ar frio estar abaixo do ar quente, o que dificulta a dispersão também pode se dizer pelo facto de ser a hora de pico, onde muitos camiões entram para descarregar as águas residuais.

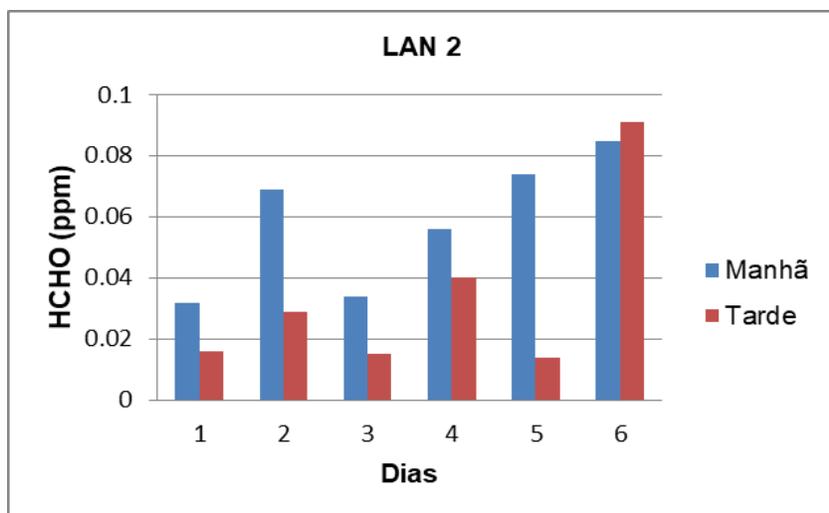


Figura 57: perfis das concentrações do formaldeído nos dois perfis do dia

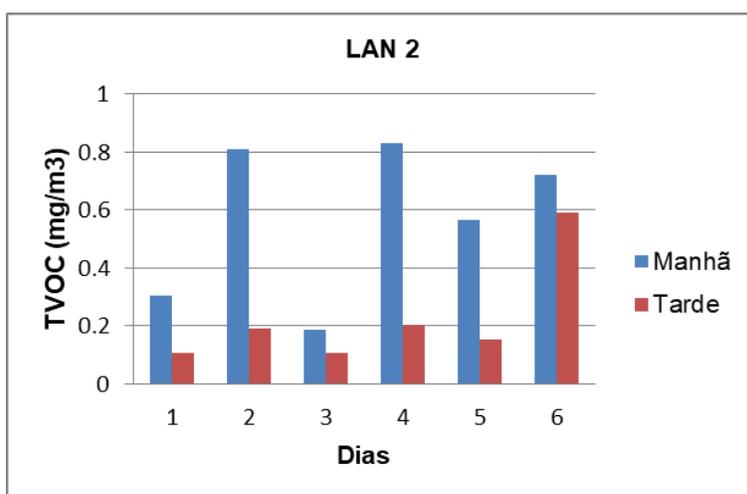


Figura 58: perfis das concentrações médias nos dois períodos do dia

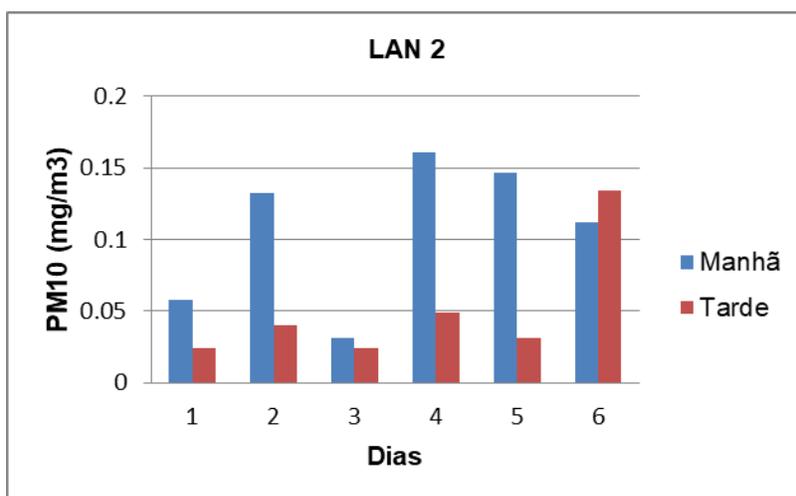


Figura 59: perfis das concentrações dos PM10 nos dois períodos do dia

Na lagoa anaeróbia 3, os perfis das concentrações do formaldeído e materiais particulados (60 e 62), tem maior emissão no período da manhã, o que não se verifica com exactidão para os compostos orgânicos voláteis totais no período da tarde com valores aproximadamente iguais em alguns dias como mostra a figura 61. A similaridade dos perfis dos parâmetros é o que tem-se verificado ao longo da discussão dos resultados, como anteriormente comparado, os níveis elevados das concentrações tem-se verificado nos períodos da manhã.

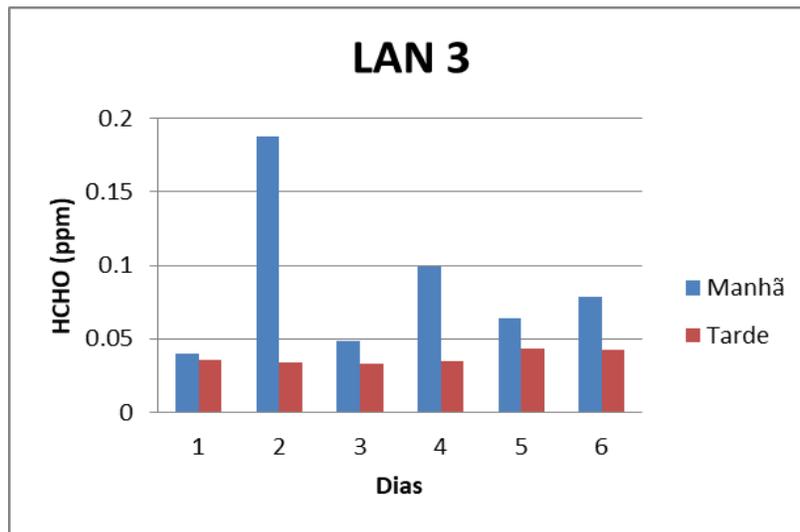


Figura 60: perfis das concentrações médias do HCHO nos dois períodos do dia

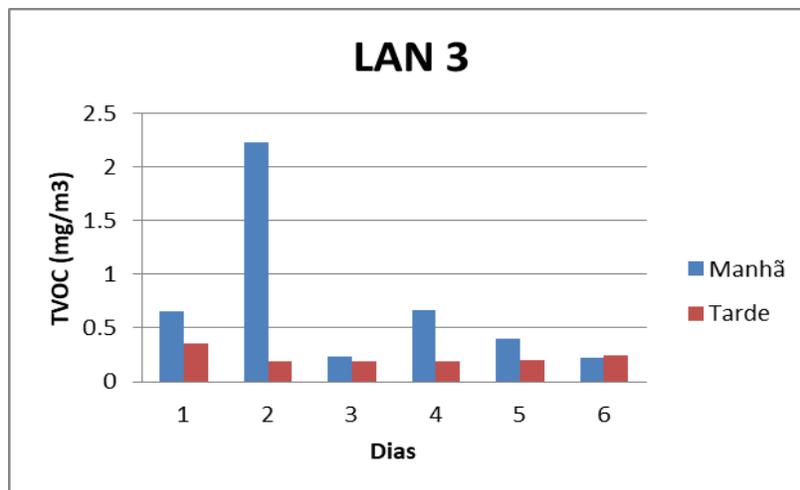


Figura 61: perfis das concentrações dos TVOC nos dois períodos do dia

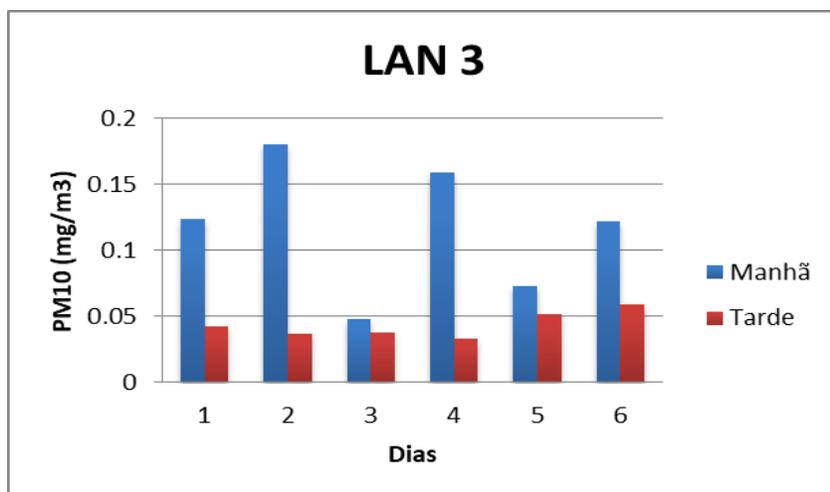


Figura 62: os perfis das concentrações dos PM10 nos dois períodos de dia

Observando os gráficos abaixo apresentados nas figuras 63, 64 e 65, pode-se constatar que, os níveis de emissão dos poluentes atmosféricos nos períodos da tarde, tem sido muito baixos comparativamente com o período da manhã, por mais que, em alguns dias ultrapassem consideravelmente no período de tarde, como pode se ver no caso do gráfico do formaldeído, compostos orgânicos voláteis totais e materiais particulados.

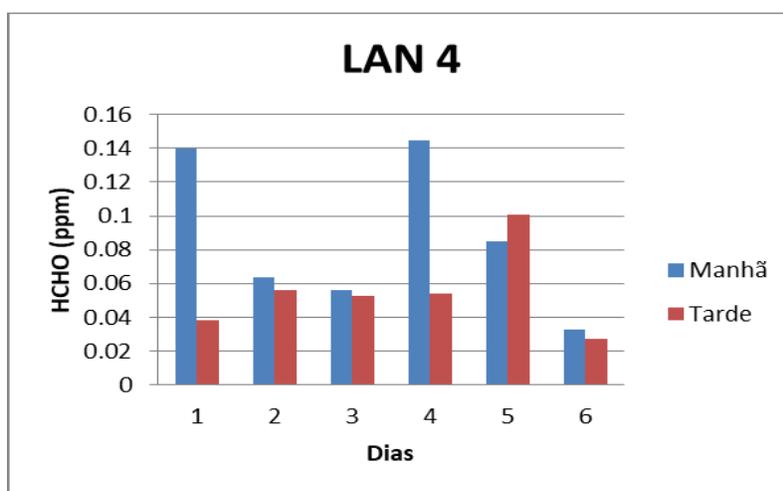


Figura 63: perfis das concentrações médias do HCHO nos dois períodos do dia

Observando os perfis dos compostos orgânicos voláteis totais nessa lagoa, vê-se que, os níveis de emissão foram muito baixos para o período da tarde, ao passo que no período da manhã, as concentrações dos TVOC oscilaram aproximadamente em 2,5 mg/m<sup>3</sup> o que foi um pico para quase toda a medição dos parâmetros.

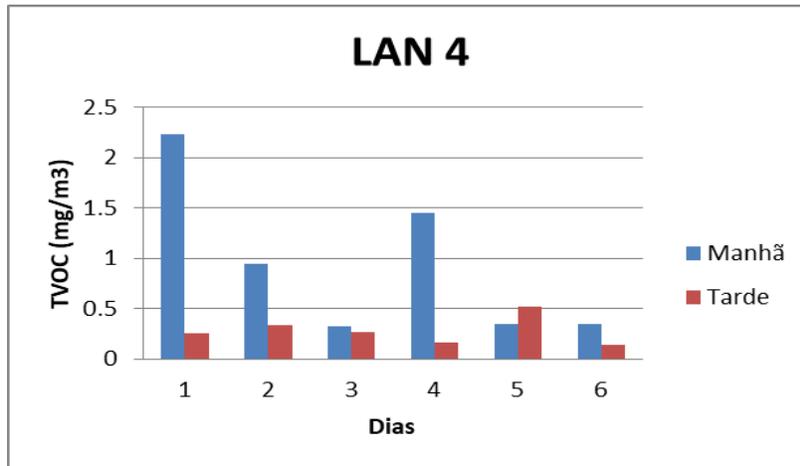


Figura 64: perfis das concentrações dos TVOC nos períodos da manhã e da tarde

O perfil das concentrações dos PM<sub>10</sub>, na figura 65 verifica-se um decaimento das concentrações no período da tarde, onde em dias como 3 e 5, aumenta os níveis de emissão. E em outros dias os níveis tem aumentado nos períodos da manhã conforme mostrado na figura abaixo.

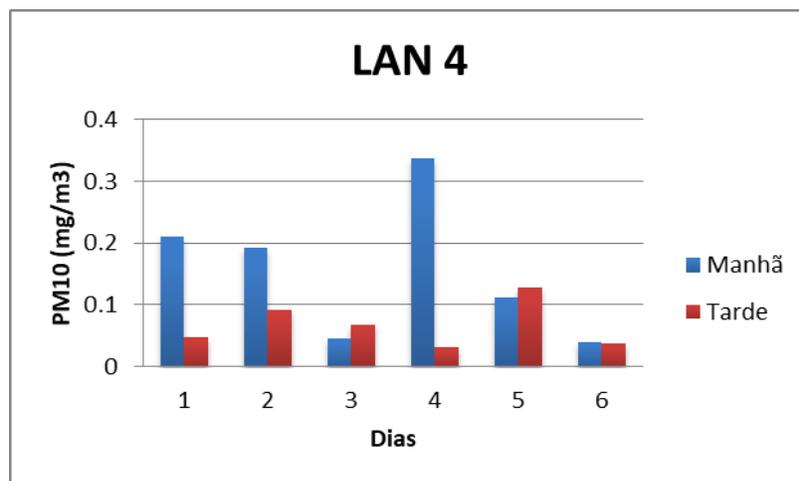


Figura 65: perfis das concentrações médias dos PM10 nos dois períodos do dia

Os perfis dos parâmetros atmosféricos medidos no ponto de encontro, não apresentaram comportamento diferente dos outros pontos de medição, pois o aumento dos níveis de emissão verificou-se em demasia no período da manhã, por mais que existam dias que,

se notem uma elevação considerável no período da tarde conforme as figuras 66, 67 e 68. Onde houve alguns dias de alta emissão no período da tarde.

Esses níveis de emissão verificam-se pelo facto de, nas manhãs o ar frio estar abaixo do ar quente, o que dificulta a dispersão também pode se dizer pelo facto de ser a hora de pico, onde muitos camiões entram para descarregar as águas residuais. Também considerar que a atmosfera é um compartimento da biosfera sem limite como os outros compartimentos tem.

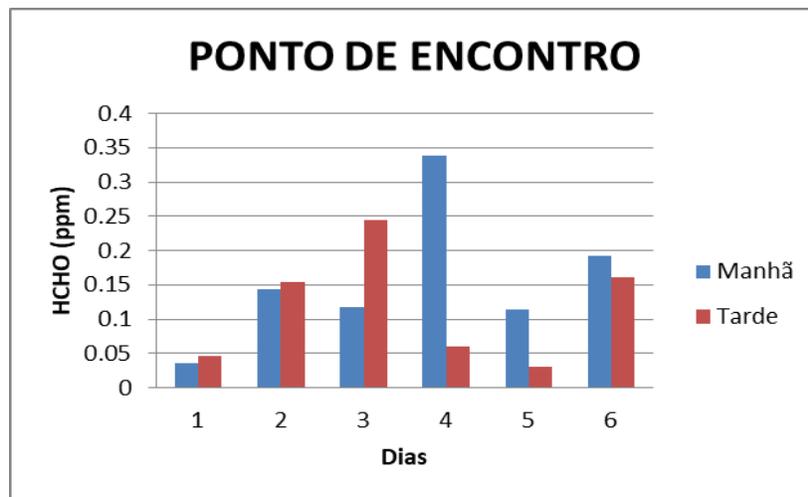


Figura 66: perfis das concentrações médias do HCHO nos dois períodos do dia

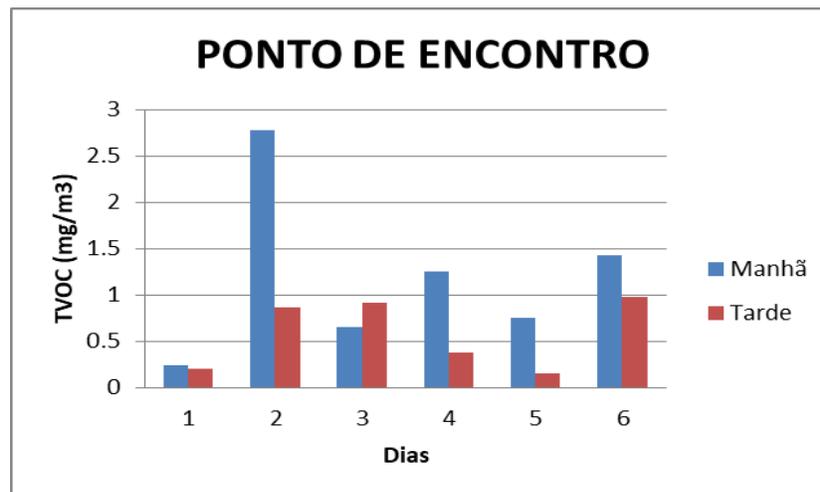


Figura 67: perfis das concentrações médias dos TVOC nos dois períodos do dia

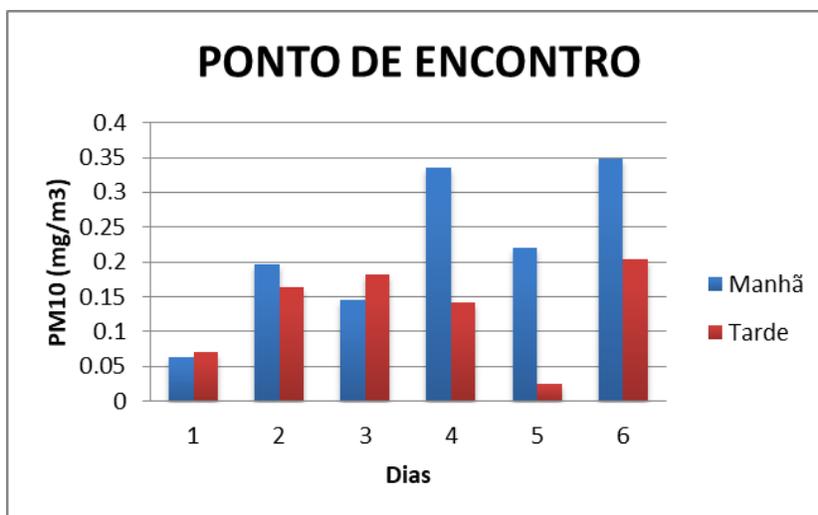


Figura 68: os perfis das concentrações dos PM10 nos dois períodos do dia

As lagoas facultativas 1 e 2, de acordo os gráficos apresentados nas figuras 66, 67, 68, demonstraram os perfis semelhantes das concentrações ao longo dos dias. Observando as figuras 69, 70 e 71, por mais que os valores das emissões sejam menores, constatou-se que os níveis dos mesmos comparativamente com os perfis do ponto de encontro, aumentaram mais no período da manhã, tendo em consideração que em alguns dias tiveram mais emissões no período da tarde como pode se ver na figura 70 de compostos orgânicos voláteis totais.

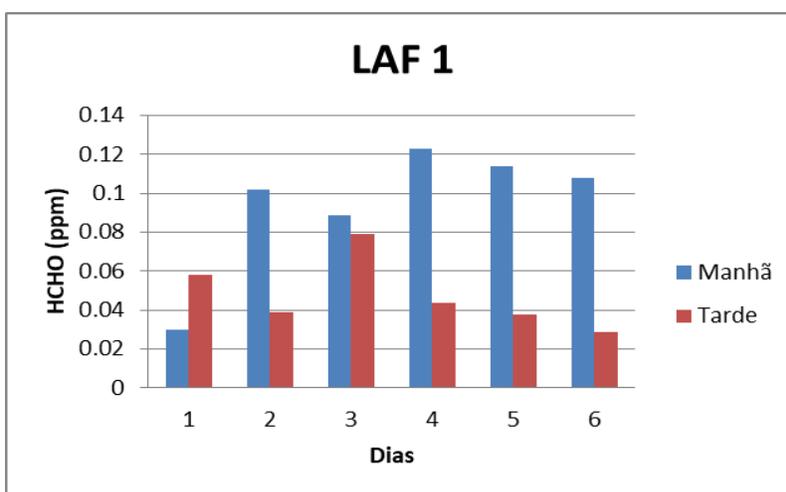


Figura 69: perfis das concentrações do HCHO nos dois períodos do dia

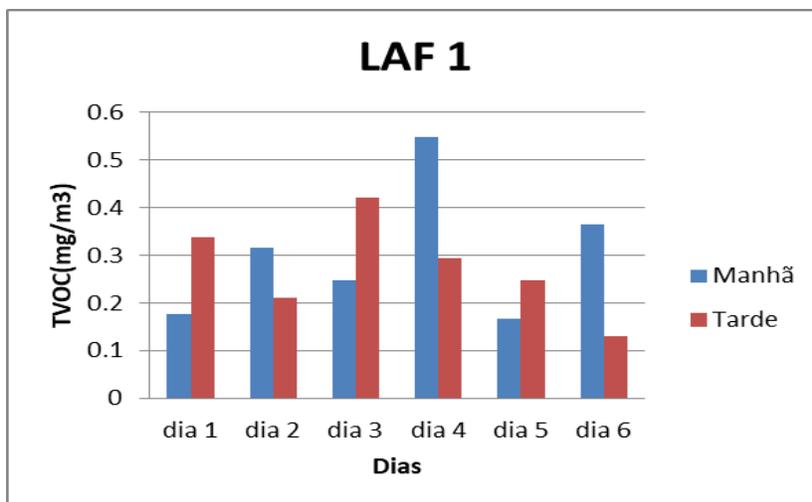


Figura 70: os perfis das concentrações médias dos TVOC nos dois períodos do dia

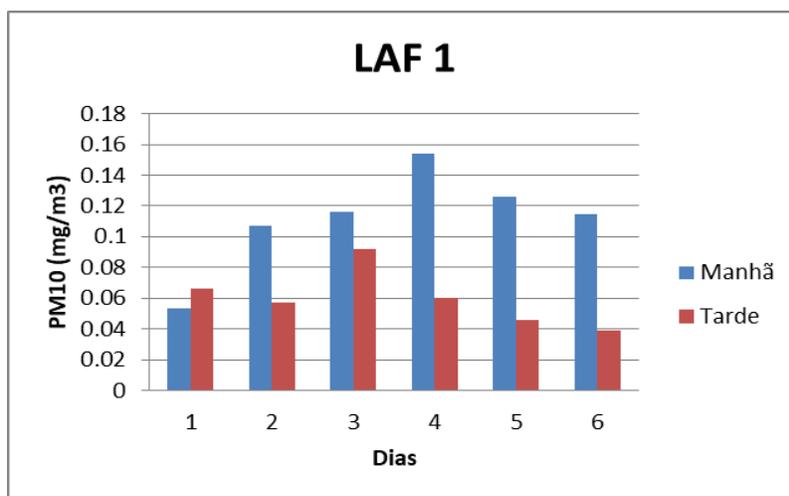


Figura 71: os perfis das concentrações dos PM10 nos dois períodos do dia

As concentrações nas lagoas facultativas como visto na LAF 1, tendem a diminuir, pois a matéria orgânica nessas lagoas existe em pequenas quantidades comparando com as lagoas anaeróbias, para além desse factor, também as condições do meio ambiente influenciam bastante para aumento ou diminuição das emissões dos poluentes atmosféricos.

As concentrações do formaldeído na LAF 2 apresentam um perfil oscilatório para dois períodos do dia, onde os níveis das concentrações aumentam mais no período da manhã, com excepção nos 3 e 5 conforme ilustra a figura 72.

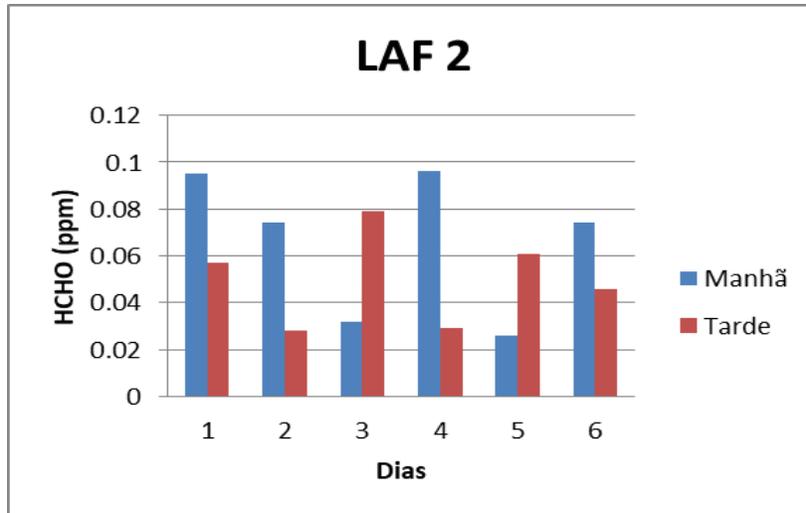


Figura 72: perfis das concentrações médias do HCHO nos dois períodos do dia

Os compostos orgânicos voláteis totais, também apresentaram um perfil semelhante com o perfil do formaldeído, onde verifica o aumento dos níveis da emissão nos dias 3 e 5 com uma grande proximidade das concentrações no dia 6 e isso está patente na figura 73 abaixo ilustrado. Também pode-se dizer que, o aumento dos níveis das concentrações dos TVOC, verificou-se nos dias 1, 2 e 4.

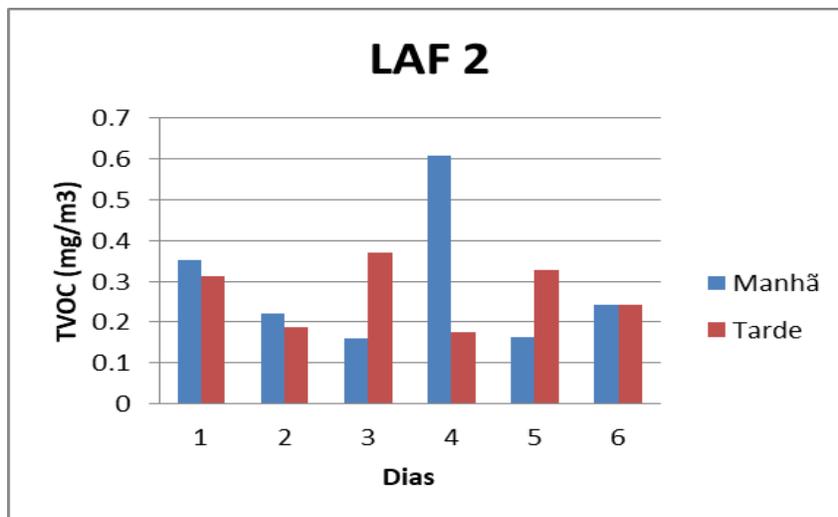


Figura 73: perfis das concentrações médias dos TVOC nos dois períodos do dia

Assim como os TVOC e formaldeído, também os materiais particulados apresentaram perfis semelhantes, onde verificou-se aumento dos níveis da emissão para período da tarde nos dias 3 e 5 ao contrário do período da manhã como mostra a figura 74.

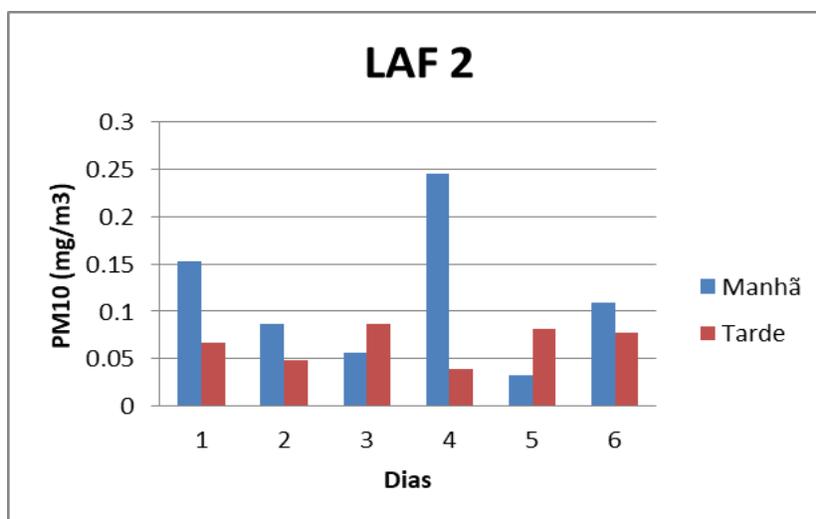


Figura 74: perfis das concentrações médias dos PM10 nos dois períodos do dia

De uma forma geral, os níveis das concentrações dos poluentes atmosféricos foram, na sua maior parte emitidos no período da manhã, isso explica-se pelas condições das águas residuais e das da meteorologia.

A figura 6 de acordo com (De Melo Lisboa H. , 1996) explica a influência do aumento e diminuição da temperatura ao longo do dia. A diminuição da temperatura do ambiente, favorece o ar próximo do solo ficar mais frio e conseqüentemente mais denso. Em função disso, o ar mais frio não consegue circular e fica aprisionado nas camadas mais baixas da troposfera e acima dessa camada de ar frio está posicionada uma camada de ar quente que não circula.

Com a retenção do ar frio na camada mais baixa da troposfera, os parâmetros atmosféricos monitorizados na estação de tratamento de águas residuais do Infulente, não se dispersam, aumentando dessa forma a concentração dos mesmos na atmosfera da estação.

Em uma situação normal, o ar quente fica próximo da superfície e ascende para as camadas superiores por ser menos denso como ilustra a figura 7.

Para (TURNER, 1994) as condições atmosféricas podem ser classificadas em instável, neutro e estável, como pode se ver no presente trabalho, os níveis das concentrações médias destacaram-se na sua maior parte dos dias no período da manhã. Isso deve-se

ao facto de as condições atmosféricas serem estáveis, onde a mobilidade dos poluentes é aproximadamente zero.

Após apresentar os gráficos dos perfis das concentrações dos parâmetros, foram identificados os valores mínimos e máximos de emissão para verificar a existência dos padrões estabelecidos pela legislação do meio ambiente a respeito dos mesmos na estação.

## 6. Conclusão e Recomendações

De uma forma geral, concluiu-se que, os perfis das concentrações médias dos parâmetros atmosféricos medidos foram semelhantes em todos os pontos, com maior destaque no período de manhã. Mas também, constatou-se que, o formaldeído, de todos os outros dois parâmetros, mostrou-se ser um parâmetro com maiores concentrações médias emitidas na atmosfera da ETAR do Infulene quase em todos pontos, principalmente no ponto 6 de amostragem.

Também constatou-se que os valores mínimos e máximos das concentrações médias dos parâmetros nos dois períodos das medições foram diferentes, que quando confrontados pela legislação ambiental, os valores máximos de formaldeído tem ultrapassado os valores limites de exposição em certos dias nos dois períodos, o que pode acarretar problemas não só aos trabalhadores expostos assim como aqueles indivíduos que efectuam visitas ocasionais na estação. Do mesmo modo, foi constatado que, os valores máximos dos materiais particulados ( $PM_{10}$ ), em algum momento nos dois períodos, têm estado fora dos limiares da emissão dos poluentes atmosféricos dessa categoria.

Também chegou-se a conclusão que a emissão de parâmetros atmosféricos com carácter odorífico numa ETAR é inevitável, o que é preciso fazer, é a realização de estudos contínuos com vista a acompanhar as tendências e mudanças na emissão dos níveis das concentrações para encontrar alternativas de melhoria das condições odoríficas. Também, concluiu-se que, em Moçambique ainda não existe estudos detalhados sobre esta matéria.

Portanto, a monitorização mostra-se essencial, pois desperta a comunidade científica a tomar medidas correctivas e preventivas durante o processo de tratamento das águas residuais, com vista a minimizar a geração dos poluentes atmosféricos que causam desconforto aos trabalhadores assim como aos visitantes ocasionais na estação.

## 6.1. **Recomendações**

Como recomendação este estudo recomenda:

- Estudos de monitorização semestrais de compostos odoríficos na estação;
- Desenvolver estudos de monitorização no departamento de análises laboratoriais de águas residuais;
- Novas pesquisas utilizando outros equipamentos de medição, para medir por exemplo o sulfureto de hidrogénio e amoníaco;
- Desenvolver estudos de dispersão dos poluentes emitidos na ETAR de Infulene.

## Bibliografia

- [1]. Almeida, I. T. (1999). *poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto*. Universidade de São Paulo.
- [2]. Antunes, R. &. (2004). *Odores Em Estações De Tratamento De Águas Residuais. 7o Congresso Da Água, d, 18*.
- [3]. ASCE/WEF. (1995). *Odor control in wastewater treatment plants. American Society of Civil .*
- [4]. Barboza, V. d. ( 2021). *Resoluções Conama. Compêndio Amazônico: Noções Sobre Meio Ambiente*.
- [5]. Cervo, A. L., & Bervian, P. A. (1996). *Metodologia científica. São Paulo: Makron Books*.
- [6]. D´artagnan Almeida, Í. (2021). *Coleção Geografi a Metodologia Do Trabalho Científico*.
- [7]. De Melo Lisboa, H. (1996). *Contribution à la mise en oeuvre et à la validation de modèles de dispersion atmosphérique applicables aux composés odorants. Université de Pau et des pays de L`Adour- Ecole ds Mines d`Alès*.
- [8]. De Melo Lisboa, H. (2008). *Controle da poluição atmosférica, . Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental*.
- [9]. DE MELO LISBOA, H., BELLI FILHO, P., JUNIOR, G. N., & QUEIROZ, N. (2002). *Metodologias para avaliação de odores em refinaria de petróleo. Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias ambientales*.
- [10]. Eddy, M. &. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse . Revista por Tchobanoglous, G., Burton, F.L. and Stensel, H.D.International Ed. 4th Ed*.
- [11]. Einarsen, A., Aesoy, A., Rasmussen, A., Bungum, S., & Sveberg, M. (2000). *Biological prevention and removal of hydrogen sulphide in sludge at Lillehammer wastewater treatment plant. Water Science and Technology, v. 41, n. 6, p. 175-187*.
- [12]. Filho, P. B. (2000). *Odor e biodesodorização em reatores anaeróbios. Ix Silubesa, 5*.
- [13]. Filipe, L. M. (2009). *controle de odor. tese de mestrado*.

- [14]. Frenchen, F. B. (1994). *Odour emissions of wastewater treatment plants in West Germany. Water Science and Technology*, vol 30, .
- [15]. Gostelow, S. A. (2001.). *Odour Measurements for Sewage Treatment works. Water Res. V. 35, n. 3, p. 579-597. .*
- [16]. Jane, A. F. (2017). *Tratamento de Águas Residuais e Gestão de Lamas Fecais em Moçambique: Ponto de Situação , Desafios e Perspetivas Engenharia do Ambiente Júri. 45.*
- [17]. Kemp, D. D. (1994.). *Global Environment Issues - A Climatological Approach. 2 ed.USA, Routledge, .*
- [18]. Lima, &. G. (2008). *Minimização de odores em contentores de resíduos sólidos. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, . Instituto Superior de Engenharia Do Porto, 89.*
- [19]. Lora, E. S. ( 2000.). *Prevenção e controle da poluição nos sectores energéticos, industrial e de transporte. Brasília DF: ANEEL,.*
- [20]. Magalhães, L. C. ( (2005)). *Estudo Do Material Particulado Atmosférico E Metais Associados Às Partículas Totais Em Suspensão Na Cidade De Ouro Preto , MG. Universidade Federal de Ouro Preto, 81.*
- [21]. Mandu, J. B. (2010). *Aplicação do modelo de dispersão aermod às emissões odorantes oriundas de um frigorífico. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) –. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. . Universidade Federal de Santa Catarina.*
- [22]. Mcginley, C. M. (2006.). *An odor index scale for policy and decision making using ambient & source odor concentrations. Artigo. WEF/A&WA Odors and Air Emissions. Water Environment Federation. p. 244-255.*
- [23]. Meyer, C. ((2018)). *Overview of TVOC and Indoor Air Quality Gases of Interest for Indoor Air Quality Definition of Tvoc Tvoc as an Indicator for Indoor Air Quality. 111, 1–10.*
- [24]. Monte, H. M. (2016). *Tratamento de Águas Residuais - Operações e Processos de Tratamento Físico e Químico. www.ersar.pt.*
- [25]. Nuraeni, R. M. (2017). *diponegoro journal of accounting.*

- [26]. Nuvolari, A. T. (2003). *Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e Reuso Agrícola*. Editora Edgard Blücher Ltda. . 520 p.
- [27]. Pereira, Â. S. (2021). *Processos de tratamento e mitigação de odores*.
- [28]. Pina, C. D. (2010). *Avaliação da Exposição Profissional ao Formaldeído : Efeito Genotóxico*. Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar Da Universidade Do Porto.
- [29]. Pires, D. O. (2005). . *Inventário de Emissões Atmosféricas de Fontes Estacionárias e sua Contribuição para a Poluição do Ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro*. . 188 f. Tese (doutorado) - Curso de Ciências em Planejamento Energético. 188.
- [30]. Sakinah. (2019). *sem título*.
- [31]. Silva, G. P. (2002). *Avaliação de incômodos olfativos emitidos pela suínocultura: estudos na bacia hidrográfica do rio dos Fragosos e na região urbana do município de Concórdia*. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina Centro tecnológico Florianópolis.
- [32]. Simon, A. ( 1992). *Nuisances olfactives dues aux porcheries Revue bibliographique. Deuxieme version*. Paris: Institut Technique du Pore,44p.
- [33]. Soares, S. R. (2008). *Gestão ambiental ENS 5125, . Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental*.
- [34]. Sousa., V. M. ((2009)). *Estudo das emissões gasosas por processos de desodorização. 92. Estudo das emissões gasosas por processos de desodorização. 92*.
- [35]. TURNER, D. B. (1994). *Workbook of atmospheric dispersion estimates*. New York: Lewis, 2nd ed.
- [36]. WEF/ASCE. (1995.). *Odor Control in Wastewater Treatment Plants*. Water Environmental Federation (WEF) manual of practice nº22; American Society of Civil Engineers (ASCE), manuals and reports on engineering practice nº82. WEF/ASCE, USA. .
- [37]. Wilson, W. E. (1997). *Fine and coarse particles: concentration relationships relevant to epidemiologic studies*. *Jawma*, v47, p.1238-1249, .

- [38]. Yusri, A. Z. (2020). *Sem título. Jurnal Ilmu Pendidikan, 7(2), 809–820.*
- [39]. Zannetti. (1990). *Lagrangian dispersion models, air pollution modeling, theories, computational methods and available software.* Boston.
- [40]. Zuritta, M. L. (1999). *Avaliação do odor gerado por fonte estacionária, através da implantação de uma rede de monitoramento de incidência de odores. 20° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, .* Rio de Janeiro.

## Apêndices

### Apêndice 1

As concentrações médias de formaldeído nos períodos da manhã e da tarde

**Tabela A1. 1: concentrações médias do formaldeído no pré-tratamento**

	HCHO (ppm)						
	Dias						
Período	1	2	3	4	5	6	Total
Manhã	0.033	0.114	0.008	0.025	0.125	0.118	0.423
Tarde	0.02	0.011	0	0.003	0.02	0.026	0.08

**Tabela A1. 2: concentrações médias do formaldeído na LAN 1**

	HCHO (ppm)						
	Dias						
Período	1	2	3	4	5	6	Total
Manhã	0.051	0.027	0.034	0.02	0.069	0.069	0.27
Tarde	0.014	0.087	0.01	0.022	0.047	0.032	0.212

**Tabela A1. 3: concentrações médias do formaldeído na LAN 2**

	HCHO (ppm)						
	Dias						
Período	1	2	3	4	5	6	Total
Manhã	0.032	0.069	0.034	0.056	0.074	0.085	0.35
Tarde	0.016	0.029	0.015	0.04	0.014	0.091	0.205

**Tabela A1. 4: concentrações médias do formaldeído na LAN 3**

	HCHO (ppm)						
	Dias						
Período	1	2	3	4	5	6	Total
Manhã	0.04	0.188	0.049	0.099	0.064	0.079	0.519
Tarde	0.036	0.034	0.033	0.035	0.044	0.043	0.225

**Tabela A1. 5: concentrações médias do formaldeído na LAN 4**

	HCHO (ppm)						
	Dias						
Período	1	2	3	4	5	6	Total
Manhã	0.14	0.064	0.056	0.145	0.085	0.033	0.523
Tarde	0.038	0.056	0.053	0.054	0.101	0.027	0.329

**Tabela A1. 6: concentrações médias do formaldeído no ponto de encontro**

	HCHO (ppm)						
	Dias						
Período	1	2	3	4	5	6	Total
Manhã	0.036	0.143	0.117	0.339	0.114	0.192	0.941
Tarde	0.046	0.155	0.244	0.061	0.031	0.161	0.698

**Tabela A1. 7: concentrações médias do formaldeído na LAF 1**

	HCHO (ppm)						
	Dias						
Período	1	2	3	4	5	6	Total
Manhã	0.03	0.102	0.089	0.123	0.114	0.108	0.566
Tarde	0.058	0.039	0.079	0.044	0.038	0.029	0.287

**Tabela A1. 8: concentrações médias do formaldeído na LAF 2**

	HCHO (ppm)						
	Dias						
Período	1	2	3	4	5	6	Total
Manhã	0.095	0.074	0.032	0.096	0.026	0.074	0.397
Tarde	0.057	0.028	0.079	0.029	0.061	0.046	0.3

**Concentrações médias dos compostos orgânicos voláteis totais nos períodos da manhã e tarde**

**Tabela A1. 9: Concentrações médias dos compostos orgânicos voláteis totais pré-tratamento**

	TVOC (mg/m3)						
	Dias						
<b>Período</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>Total</b>
<b>Manhã</b>	0.186	0.606	0.049	0.13	0.777	1.76	3.508
<b>Tarde</b>	0.085	0.04	0.051	0.021	0.085	0.176	0.458

**Tabela A1. 10: concentrações médias dos compostos orgânicos voláteis totais LAN 1**

	TVOC (mg/m3)						
	Dias						
<b>Período</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>Total</b>
<b>Manhã</b>	0.557	0.176	0.314	0.138	0.499	0.36	2.044
<b>Tarde</b>	0.043	0.425	0.058	0.121	0.267	0.19	1.104

**Tabela A1. 11: concentrações médias dos compostos orgânicos voláteis totais LAN 2**

	TVOC (mg/m3)						
	Dias						
<b>Período</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>Total</b>
<b>Manhã</b>	0.307	0.811	0.186	0.831	0.568	0.723	3.426
<b>Tarde</b>	0.108	0.191	0.109	0.206	0.152	0.593	1.359

**Tabela A1. 12: concentrações médias dos compostos orgânicos voláteis totais LAN 3**

	TVOC (mg/m3)						
	Dias						
<b>Período</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>Total</b>
<b>Manhã</b>	0.66	2.23	0.234	0.664	0.403	0.218	4.409
<b>Tarde</b>	0.359	0.187	0.193	0.193	0.204	0.241	1.377

**Tabela A1. 13: concentrações médias dos compostos orgânicos voláteis totais LAN 4**

Período	TVOC (mg/m3)						
	Dias						
	1	2	3	4	5	6	Total
Manhã	2.232	0.939	0.326	1.448	0.351	0.345	5.641
Tarde	0.257	0.334	0.262	0.161	0.519	0.136	1.669

**Tabela A1. 14: concentrações médias dos compostos orgânicos voláteis totais ponto de encontro**

Período	TVOC (mg/m3)						
	Dias						
	1	2	3	4	5	6	Total
Manhã	0.239	2.783	0.648	1.255	0.757	1.431	7.113
Tarde	0.206	0.866	0.912	0.378	0.152	0.984	3.498

**Tabela A1. 15: concentrações médias dos compostos orgânicos voláteis totais na LAF 1**

Período	TVOC (mg/m3)						
	Dias						
	1	2	3	4	5	6	Total
Manhã	0.176	0.316	0.248	0.547	0.166	0.364	1.817
Tarde	0.337	0.211	0.42	0.295	0.248	0.131	1.642

**Tabela A1. 16: concentrações médias dos compostos orgânicos voláteis totais LAF 2**

Período	TVOC (mg/m3)						
	Dias						
	1	2	3	4	5	6	Total
Manhã	0.353	0.22	0.161	0.608	0.162	0.242	1.746
Tarde	0.312	0.187	0.369	0.176	0.329	0.244	1.617

**Concentrações médias dos materiais particulados nos períodos da manhã e tarde**

**Tabela A1. 17: concentrações médias dos materiais particulados no pré-tratamento**

	PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> )						
	Dias						
Período	1	2	3	4	5	6	Total
Manhã	0.044	0.083	0.012	0.042	0.164	0.153	0.456
Tarde	0.027	0.011	0	0.011	0.027	0.036	0.141

**Tabela A1. 18: concentrações médias dos materiais particulados na LAN 1**

	PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> )						
	Dias						
Período	1	2	3	4	5	6	Total
Manhã	0.141	0.116	0.089	0.045	0.117	0.122	0.63
Tarde	0.016	0.089	0.019	0.029	0.046	0.044	0.249

**Tabela A1. 19: concentrações médias dos materiais particulados na LAN 2**

	PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> )						
	Dias						
Período	1	2	3	4	5	6	Total
Manhã	0.058	0.132	0.031	0.161	0.147	0.112	0.479
Tarde	0.024	0.04	0.024	0.049	0.031	0.134	0.302

**Tabela A1. 20: concentrações médias dos materiais particulados na LAN 3**

	PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> )						
	Dias						
Período	1	2	3	4	5	6	Total
Manhã	0.124	0.18	0.048	0.159	0.073	0.122	0.706
Tarde	0.042	0.037	0.038	0.033	0.052	0.059	0.261

**Tabela A1. 21: concentrações médias dos materiais particulados na LAN 4**

	PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> )						
	Dias						
Período	1	2	3	4	5	6	Total
Manhã	0.211	0.192	0.045	0.337	0.111	0.039	0.935
Tarde	0.048	0.092	0.067	0.032	0.127	0.038	0.404

**Tabela A1. 22: concentrações médias dos materiais particulados no ponto de encontro**

	PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> )						
	Dias						
Período	1	2	3	4	5	6	Total
Manhã	0.063	0.197	0.146	0.335	0.22	0.347	1.162
Tarde	0.07	0.164	0.182	0.141	0.025	0.203	0.785

**Tabela A1. 23: concentrações médias dos materiais particulados na LAF 1**

	PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> )						
	Dias						
Período	1	2	3	4	5	6	Total
Manhã	0.053	0.107	0.116	0.154	0.126	0.115	0.671
Tarde	0.066	0.057	0.092	0.06	0.046	0.039	0.39

**Tabela A1. 24: concentrações médias dos materiais particulados na LAF 2**

	PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> )						
	Dias						
Período	1	2	3	4	5	6	Total
Manhã	0.153	0.087	0.056	0.246	0.033	0.109	0.684
Tarde	0.067	0.049	0.087	0.039	0.081	0.078	0.401

## Apêndice 2

### Período da manhã:

- HCHO:  $C \left( \frac{mg}{m^3} \right) mín = 0.008 ppm = 0.008 \frac{mg}{l} = 8 \frac{mg}{m^3} = 8000 \mu g/m^3$   
 $C \left( \frac{mg}{m^3} \right) max = 0.339 ppm = 0.339 \frac{mg}{l} = 339 \frac{mg}{m^3} \times 1000 = 339000 \mu g/m^3$
- TVOC:  $C \left( \frac{mg}{m^3} \right) mín = 0.049 \frac{mg}{m^3} \times 1000 = 490 \mu g/m^3$   
 $C \left( \frac{mg}{m^3} \right) max = 2.783 \frac{mg}{m^3} \times 1000 = 2783 \mu g/m^3$
- PM<sub>10</sub>:  $C \left( \frac{mg}{m^3} \right) mín = 0.012 \frac{mg}{m^3} \times 1000 = 120 \mu g/m^3$   
 $C \left( \frac{mg}{m^3} \right) max = 0.347 \frac{mg}{m^3} \times 1000 = 347 \mu g/m^3$

### Período da tarde

- HCHO:
- $C \left( \frac{mg}{m^3} \right) mín = 0 ppm = 0 \frac{mg}{l} = 0 \frac{mg}{m^3} \times 1000 = 0 \mu g/m^3$   
 $C \left( \frac{mg}{m^3} \right) max = 0.244 ppm = 0.244 \frac{mg}{l} = 244 \frac{mg}{m^3} = 244000 \mu g/m^3$
- TVOC:  
 $C \left( \frac{mg}{m^3} \right) mín = 0.021 \frac{mg}{m^3} \times 1000 = 21 \mu g/m^3$   
 $C \left( \frac{mg}{m^3} \right) max = 0.984 \frac{mg}{m^3} \times 1000 = 984 \mu g/m^3$
- PM<sub>10</sub>:  
 $C \left( \frac{mg}{m^3} \right) mín = 0 \frac{mg}{m^3} \times 1000 = 0 \mu g/m^3$   
 $C \left( \frac{mg}{m^3} \right) max = 0.203 \frac{mg}{m^3} \times 1000 = 203 \mu g/m^3$

## Anexos

**Tabela 1: padrões americanos de qualidade do ar**

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO PRIMÁRIO µg/m <sup>3</sup>	PADRÃO SECUNDÁRIO µg/m <sup>3</sup>
Partículas < 10µm (PM <sub>10</sub> )	24 horas	150	150
	MAA <sup>(1)</sup>	50	50
Partículas < 2,5µm (PM <sub>2,5</sub> )	24 horas	65	65
	MAA <sup>(1)</sup>	15	15
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	24 horas	365 (0,14 ppm)	
	3 horas		1300 (0,50 ppm)
	MAA <sup>(1)</sup>	80 (0,03 ppm)	
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	40.000 (35 ppm)	
	8 horas	10.000 (9 ppm)	
Ozônio (O <sub>3</sub> )	1 hora	235 (0,12 ppm)	235 (0,12 ppm)
	8 horas	157 (0,08 ppm)	157 (0,08 ppm)
Chumbo (Pb)	Média trimestral	1,5	1,5
Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> )	MAA <sup>(1)</sup>	100 (0,053 ppm)	100 (0,053 ppm)

(1) Média aritmética anual.

- Os padrões primários fixam limites para proteger a saúde pública, incluindo a saúde das populações sensíveis como asmáticos, crianças e idosos.
- Os padrões secundários fixam limites para proteger o bem-estar público, incluindo a protecção contra a diminuição da visibilidade, danos aos animais, plantações vegetais e construções.

Tabela 2: dados meteorológicos dos dias da medição das concentrações dos parâmetros na ETAR do Infulene (fonte: Estação de Mavalane-Maputo: INAM, 2024)

Dias	Velocidade do Vento (Km/h)		Pressão (Hp)		Direcção do Vento		Temperatura (°C)		Precipitação (mm)	
	10 às 11h	13as 14h	10 às 11h	13 às 14	10 às 11h	13 as 14h	10 às 11h	13 às 14h	10 às 11h	13 às 14h
08/05/20 24	11.9	11.9	1019.4	1019.4	NNE	NNE	17.2	30.7	0.0	0.0
09/05/20 24	8.8	7.4	1020.2	1020.2	ENE	E	18.9	31	0.0	0.0
10/05/20 24	11.6	13.9	1017.0	1016.3	NE	NE	17.4	28.1	0.0	0.0
13/05/20 24	18.1	18.1	1020.4	1020.4	SW	SW	28.1	28.1	0.0	0.0
14/05/20 24	6.5	8.2	1023.4	1023.7	SW	SSW	19.5	25.4	9.0	9.0
15/05/20 24	11.5	10.4	1023.3	1023.0	SSE	ESSE	19.8	25.4	2.0	2.0