

**ANÁLISE SAZONAL DA DISPERSÃO DE ODORES DE UMA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE
PORTUGAL**

Fabio Andre Buhr

Orientador: Henrique de Melo Lisboa

2010/01

**Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental**

**ANÁLISE SAZONAL DA DISPERSÃO DE ODORES DE UMA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE
PORTUGAL**

FABIO ANDRE BUHR

**Trabalho apresentado à Universidade Federal de
Santa Catarina para Conclusão do Curso de
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**Orientador
Prof. Dr. Henrique de Melo Lisboa**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
AGOSTO/2010**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

ANÁLISE SAZONAL DA DISPERSÃO DE ODORES DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
EFLUENTES DE PORTUGAL

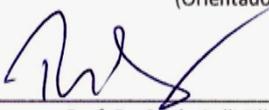
FABIO ANDRE BUHR

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte
dos requisitos para Conclusão do Curso de Graduação
em Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Henrique de Melo Lisboa
(Orientador)



Prof. Dr. Paulo Belli Filho
(Membro da Banca)



Enga. Valéria Vidal de Oliveira
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)
AGOSTO/2010

Buhr, Fabio Andre

Análise sazonal da dispersão de odores de uma estação de tratamento de efluentes de Portugal.

Fabio Andre Buhr – Florianópolis, 2010. 69f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Título em inglês: Analisis of seasonal odor dispersion of a wastewater treatment plant in Portugal.

1. Modelo de Dispersão. 2. Estudo de Impacto. 3. ETE. 4. Odores.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe que mesmo longe sempre me deu o maior apoio.

Ao meu falecido pai que sempre me motivou e me deu diversas dicas e lições importantes na vida

Ao Professor Henrique, que me ajudou a estudar no Canadá e me orientou neste trabalho.

A família Müller que enquanto meus pais estavam ausentes me acolheram como filho e me ajudaram como puderam.

Aos colegas e amigos que me acompanharam durante a faculdade, se suportando para passarmos as dificuldades juntos.

RESUMO

Análise da mudança de dispersão dos odores ao longo do ano em uma estação de tratamento de efluentes situada em Portugal. As condições meteorológicas deste estudo apresentam características distintas sazonalmente. Visto que fatores meteorológicos influenciam amplamente a dispersão de poluentes, assim como de odores, propõe-se neste estudo avaliar a estação do ano com o maior impacto para a comunidade próxima a este emissor. As médias dos dados meteorológicos utilizados apresentam variação nos resultados, portanto também serão avaliados.

PALAVRAS-CHAVE: Modelo de Dispersão; Estudo de Impacto; ETE; e Odores.

ABSTRACT

Analysis of the dispersion of odors change over the seasons at a wastewater treatment plant located in Portugal. The weather conditions of this study have different characteristics seasonally. Since meteorological factors largely influence the dispersion of pollutants, as well as odors, this study proposes to evaluate the season in the major impact to the community next to this transmitter. The averages of meteorological data used have affected the results, and thus will also be evaluated.

KEYWORDS: Dispersion Models; Impact Studies, Wastewater plant, and Odors.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABELAS.....	xii
GLOSSÁRIO.....	xiv
LISTA DE ACRÔNIMOS E UNIDADES.....	xvi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. FINALIDADE.....	2
1.2. JUSTIFICATIVA.....	2
1.3.1 OBJETIVOS.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Odores e seus impactos na qualidade de vida.....	4
2.2. Variantes na concentração de odor.....	5
2.3. Modelos computacionais de dispersão atmosférica.....	6
2.3.1. Classificação dos modelos.....	6
2.3.2. Modelo AERMOD.....	9
2.3.3. Descrição do pré-processador AERMET.....	13
2.3.4. Descrição do pré-processador AERMAP.....	14
2.4. Fonte Emissora.....	15
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
3.1. Local de estudo.....	17
3.2. Topografia da área de estudo.....	20
3.3. Dados meteorológicos.....	22
3.4. Aquisição de dados.....	24
3.5. Configuração dos receptores.....	26
3.6. Determinação das fontes emissoras.....	28
3.7. Amostragem de odores.....	30
3.8. Quantificação dos odores.....	31
3.9. Utilização do modelo AERMOD.....	34
3.10. Simulações.....	39
4. RESULTADOS.....	40
4.1. Uso do solo.....	40
4.2. Meteorologia local.....	42
4.3. Emissão das Fontes.....	47
4.4. Simulações.....	48
5. CONCLUSÃO.....	66
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - concentração real de odores em um ponto receptor.....	6
Figura 2 - Ilustração esquemática do modelo gaussiano.....	8
Figura 3 - Aproximação da distribuição da pluma na CLC.....	10
Figura 4 - Tratamento da Pluma na Camada Limite Convectiva pelo modelo AERMOD.....	11
Figura 5 – Apresentação das dimensões.....	16
Figura 6 – Localização da estação de tratamento de efluentes.....	17
Figura 7 – Mapa aproximado de Lisboa, Portugal, com a localização da ETE.....	18
Figura 8 – Mapa Aproximado de Frielas, Portugal, com a localização da ETE.....	19
Figura 9 – Domínio do estudo.....	20
Figura 10 - Topografia da área de estudo.....	21
Figura 11 - Detalhamento da topografia no local de estudo.....	22
Figura 12 – Modelo de estação Vantage Pro2.....	23
Figura 13 – Torre meteorológica instalada no local de estudo.....	24
Figura 14 – Disposição dos narizes eletrônicos.....	25
Figura 15 – Sistema de nariz eletrônico OdoWatch® instalado no local.....	26
Figura 16 – Receptores específicos.....	27
Figura 17 – Rede de receptores.....	28
Figura 18 – Tanque de Equalização.....	29
Figura 19 – Poço de resíduos.....	29
Figura 20 – ODOFLUX.....	30
Figura 21 - Júri em análise com olfatômetro ODILE®	32
Figura 22 – Tubos olfativos do ODILE®	32

Figura 23 - Área separada por setores e uso do solo.....	40
Figura 24 – Rosa dos ventos para a primavera, com média de 4 minutos.....	43
Figura 25 – Rosa dos ventos para a primavera, com média de 15 minutos.....	43
Figura 26 – Rosa dos ventos para o verão, com média de 4 minutos..	44
Figura 27 – Rosa dos ventos para o verão, com média de 15 minutos..	44
Figura 28 – Rosa dos ventos para o outono, com média de 4 minutos..	45
Figura 29 – Rosa dos ventos para o outono, com média de 15 minutos.....	45
Figura 30 – Rosa dos ventos para o inverno, com média de 4 minutos.	46
Figura 31 – Rosa dos ventos para o inverno, com média de 15 minutos.....	46
Figura 32 – Isolinhas de concentração máxima de odores para a primavera, com a média de 4 minutos.....	49
Figura 33 – Isolinhas de concentração máxima de odores para a primavera, com a média de 15 minutos.....	49
Figura 34 – Isolinhas de concentração p98 de odores para a primavera, com a média de 4 minutos.....	50
Figura 35 – Isolinhas de concentração p98 de odores para a primavera, com a média de 15 minutos.....	50
Figura 36 – Isolinhas de concentração P90 de odores para a primavera, com a média de 4 minutos.....	51
Figura 37 – Isolinhas de concentração P90 de odores para a primavera, com a média de 15 minutos.....	51
Figura 38 – Isolinhas de concentração máxima de odores para o verão, com a média de 4 minutos.....	52
Figura 39 – Isolinhas de concentração máxima de odores para o verão, com a média de 15 minutos.....	52
Figura 40 – Isolinhas de concentração p98 de odores para o verão, com a média de 4 minutos.....	53

Figura 41 – Isolinhas de concentração p98 de odores para o verão, com a média de 15 minutos.....	53
Figura 42 – Isolinhas de concentração P90 de odores para o verão, com a média de 4 minutos.....	54
Figura 43 – Isolinhas de concentração P90 de odores para o verão, com a média de 15 minutos.....	54
Figura 44 – Isolinhas de concentração máxima de odores para o outono, com a média de 4 minutos.....	55
Figura 45 – Isolinhas de concentração máxima de odores para o outono, com a média de 15 minutos.....	55
Figura 46 – Isolinhas de concentração p98 de odores para o outono, com a média de 4 minutos.....	56
Figura 47 – Isolinhas de concentração p98 de odores para o outono, com a média de 15 minutos.....	56
Figura 48 – Isolinhas de concentração P90 de odores para o outono, com a média de 4 minutos.....	57
Figura 49 – Isolinhas de concentração P90 de odores para o outono, com a média de 15 minutos.....	57
Figura 50 – Isolinhas de concentração máxima de odores para o inverno, com a média de 4 minutos.....	58
Figura 51 – Isolinhas de concentração máxima de odores para o inverno, com a média de 15 minutos.....	58
Figura 52 – Isolinhas de concentração p98 de odores para o inverno, com a média de 4 minutos.....	59
Figura 53 – Isolinhas de concentração p98 de odores para o inverno, com a média de 15 minutos.....	59
Figura 54 – Isolinhas de concentração P90 de odores para o inverno, com a média de 4 minutos.....	60
Figura 55 – Isolinhas de concentração P90 de odores para o inverno, com a média de 15 minutos.....	60

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – impactos de odores.....	4
Tabela 2 – principais substâncias odorantes originários do tratamento de efluentes domésticos.....	5
Tabela 3 – parâmetros da estação meteorológica Vantage PRO2.....	23
Tabela 4 – receptores específicos.....	27
Tabela 5 - Parâmetros meteorológicos de entrada para o AERMODView.....	35
Tabela 6 – Albedo.....	38
Tabela 7 - Razão de Bowen.....	38
Tabela 8 - Rugosidade da superfície.....	38
Tabela 9 – Legenda de usos do Solo.....	40
Tabela 10 - Áreas de usos de solo por setor (em m ²).....	41
Tabela 11 – Áreas de usos de solo por setor (em %).....	41
Tabela 12 – Valor calculado de Albedo para utilização no modelo....	41
Tabela 13 - Valor calculado de razão de Bowen para utilização no modelo.....	42
Tabela 14 - Valor calculado de rugosidade da superfície para utilização no modelo.....	42
Tabela 15 – Amostragem do tanque de equalização.....	47
Tabela 16 – Amostragem do poço de resíduos.....	47
Tabela 17 – Valores de emissão de odores do tanque de equalização..	47
Tabela 18 – Valores de odores do poço de resíduos.....	47
Tabela 19 – Resumo dos resultados das simulações.....	61
Tabela 20 – Resultados de concentração de odor de acordo com as médias dos dados meteorológicos para a primavera..	63

Tabela 21 – Resultados de concentração de odor de acordo com as médias dos dados meteorológicos para o verão.....	63
Tabela 22 – Resultados de concentração de odor de acordo com as médias dos dados meteorológicos para o outono.....	64
Tabela 23 – Resultados de concentração de odor de acordo com as médias dos dados meteorológicos para o inverno.....	64

GLOSSÁRIO

Termo	Definição
Análise olfatométrica	Teste para a quantificação de um odor ou medida da concentração de odor.
Concentração do odor	Número de unidades de odor em 1 m ³ de gás ou ainda número de diluições (com ar inodoro) necessárias para obter uma mistura cujo odor é percebido por 50 % de um júri.
Jurado	Assessor qualificado para efetuar avaliações olfatométricas.
Júri	Grupo de seis jurados qualificados para efetuar avaliações olfatométricas.
Número de unidades de odor	Número de diluições (com ar inodoro) necessárias para obter uma mistura cujo odor é percebido por 50 % de um júri.
Olfatômetro	Dispositivo no qual uma amostra de odorante é diluída com um gás inodoro em determinadas proporções e apresentadas após diluição aos jurados.
Olfatômetro a diluição dinâmica	Olfatômetro que emite na saída uma vazão contínua de uma mistura de gás odorante e inodora a diluições conhecidas.
Limiar de percepção olfativo de um júri	Número médio de diluições necessárias para que 50% do júri perceba os odores de uma análise olfatométrica (em U.O./m ³).
Fonte superficial	Uma fonte superficial é uma fonte cujas emissões atmosféricas não são canalizadas e cuja toda superfície é emissora. Uma pilha de compostagem ou ainda uma zona de recobrimento diária são fontes de superfície.

Termo	Definição
Fonte pontual	Uma fonte que não tem caráter disperso, como por exemplo uma chaminé.

LISTA DE ACRÔNIMOS E UNIDADES

Acrônimo / Unidade	Definição
AERMIC	American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model Improvement Committee
ASTM	American Society for Testing and Materials
°C	Graus Celsius
CEN	Comité Européen de Normalisation
h	Hora
km	Kilômetro
L	Litro
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
min	Minuto
Nm ³	Volume em m ³ nas condições normais de temperatura e pressão (T=298,15 K e P=101,325 kPa)
U.O./m ³	Unidade de odor por metro cúbico: Unidade de medida da concentração do odor. Por definição, 1 u.o./m ³ é a concentração de odor na qual 50 % da população percebe o odor e 50 % da população não percebe o odor.
U.O./m ² s	Unidade de odor por metro quadrado segundo. Representa a taxa de emissão de odor por unidade de superfície (fluxo de superfície).

1. INTRODUÇÃO

O cheiro é talvez o sentido mais interessante e mais rotineiramente usado para avaliar qualidade ambiental. O nosso sentido olfativo é ligado as nossas emoções e estética. Como exemplo, pode-se apontar o efeito de desagrado na resposta a certos odores ambientais, [como odores](#) provenientes de esgoto.

Este estudo propõe avaliar o impacto odorante, causado por uma estação de tratamento de efluentes domésticos, na comunidade circunvizinha, em Frielas, Portugal. Além disto, será também analisado em que estação do ano a dispersão de odores é mais desfavorecida e, portanto, apresenta maior concentração odorante (em U.O./m³).

A simulação deste cenário será feita com dados meteorológicos apresentados em médias de 4 e 15 minutos. Também será avaliada a diferença dos resultados na utilização destas duas médias diferentes.

A escolha deste caso ocorreu por dois motivos. Primariamente, devido à disponibilidade de dados. Secundariamente, por causa das características climáticas locais, com média variando entre 15 a 16°C e mínimas e máximas de 0 e 40 respectivamente, obtidos através da meteorológica no próprio local. A localização do local de estudo é 38°49'09"N e 9°08'59"O, com altitude aproximada de 35m acima do nível do mar.

Numa estação de tratamento de efluentes diversos processos geram odores que causam desconforto, por isso precisam ser avaliados quanto à concentração, intensidade, persistência, hedonicidade, e caráter descritivo (ASHRAE, 2005). A concentração e a intensidade são os mais aceites para descrever características de odor para um estudo de impacto de vizinhança de alguma empresa nova, ou desempenho de uma empresa já existente. Uma unidade de odor é descrita como a diluição de um ar odorizado com ar fresco desodorizado até que 50% de um corpo de analistas consigam detectá-lo (CEN, 2003). Para tentar retratar uma concentração de Unidades de Odor (U.O./m³) em um local específico do terreno ou vizinhança em estudo, pode-se utilizar métodos computacionais para tanto.

Já existem muitos modelos aprovados pela EPA (Environmental Protection Agency) americana e outros órgãos. Neste estudo será utilizada uma interface gráfica para o modelo AERMOD, modelo este aprovado pela EPA. A realidade destes modelos é obtida a partir de bases de dados meteorológicos, de solo e de emissão, que podem ou não

apresentar valores condizentes com a realidade. Qualquer modificação em um dos parâmetros pode mudar drasticamente os resultados apresentados. Quando não se possui dados meteorológicos locais os dados são interpolados com dados de estações meteorológicas mais distantes. Dependendo da distância destas outras estações meteorológicas, os dados interpolados podem representar uma realidade diferente da local. Por este motivo, foi pesquisado um sítio de estudo que possui dados meteorológicos locais coletados através de uma estação meteorológica compacta, de modo a utilizar estes dados em um modelo que calculará as plumas de dispersão.

Para calcular a dispersão de uma pluma de odores é extremamente necessário saber as variações de velocidade e direção do vento, estabilidade atmosférica, intensidade da inversão de temperatura, altitude, movimentos verticais devidos aos sistemas de alto-baixa pressões, efeitos de terreno, temperatura, etc. De preferência, procura-se trabalhar com dados instantâneos.

1.1. FINALIDADE

A finalidade deste projeto é entender a influência de variantes meteorológicas ao longo do ano sobre a dispersão de odores e avaliar se existe um período onde o impacto é maior. Deste modo, pode-se preparar a estação de efluentes emissora para que tome devidas ações para caso o impacto seja significativo.

1.2. JUSTIFICATIVA

A principal razão deste trabalho é avaliar se o impacto odorante de uma estação de tratamento de efluentes (ETE) varia ao longo do ano. Caso exista uma estação do ano onde o impacto é mais evidente, a ETE poderá tomar medidas de controle mais efetivas nesses períodos, otimizando assim o controle de odores.

A comunidade circunvizinha será diretamente beneficiada, pois poderá contar com um controle ainda maior sobre a emissão de odores por parte da empresa operadora da ETE. Deste modo, será reduzido o seu impacto ambiental junto à vizinhança.

1.3. OBJETIVOS

Geral:

- Definir qual a estação do ano que apresenta a pior qualidade do ar para a comunidade circunvizinha a uma estação de tratamento de efluentes.

Específicos:

- Comparar os resultados das simulações usando valores meteorológicos com médias de 4 e 15 minutos.
- Determinar se existe impacto em receptores importantes como escolas e hospitais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada uma introdução ao entendimento de odores, métodos de análise e modelos de simulação.

2.1. Odores e seus impactos na qualidade de vida

Na região industrial de Ruhr, na Alemanha, os efeitos sobre a saúde das pessoas são analisados em três níveis: conforto, social e saúde. Os tipos de impactos determinados por Winneke e Kastka (1977), podem ser vistos na Tabela 1.

Fatores que gerem uma exposição olfativa:

- Frequência de exposição;
- Tempo de exposição;
- Intensidade da exposição;
- Período da exposição (estação do ano, hora do dia);
- Origem do odor;
- Característica do odor;
- Hedonicidade do odor;
- Concentração do odor.

Tabela 1 – impactos de odores. Fonte: Winneke e Kastka, 1977.

Tipo de Impacto	Impacto
Conforto	perturbação olfativa janelas são fechadas difícil ventilação da moradia odores insuportáveis menos atividades externas prazer reduzido ao sair de casa
Social	tensões familiares ligadas ao odor comunicação perturbada mau humor
Saúde	vômitos causados pelos odores falta de concentração distúrbios em leituras respiração normal afetada e tosse

Stuetz e Frenchen (2001), discriminaram as variadas substâncias presentes nos processos de tratamento de esgoto e suas respectivas características odorantes, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – principais substâncias odorantes originários do tratamento de efluentes domésticos.

Substância	Composto	Característica do Odor
Sulfurados	sulfeto de hidrogênio metil-mercaptanas etil-mercaptanas dióxido de enxofre thiocresol	ovo podre repolho estragado, alho repolho estragado cáustico, ácido gambá, rançoso
Nitrogenados	amônia metilamina etilamina dietilamina piridina	penetrante, rançoso peixe podre amoniacal peixe irritante
Ácidos	acético butírico valérico	vinagre rançoso doce
Aldeídos e Cetonas	formaldeído acetaldeído butiraldeído acetona butanona	sufocante frutado rançoso, doce frutado, doce maçã verde

2.2. Variantes na concentração de odor

A determinação das concentrações dos poluentes na atmosfera está diretamente ligada com as condições atmosféricas locais e com a topografia da região. Estas condições influenciam em como a concentração varia no tempo e espaço em função de reações químicas e/ou fotoquímicas, dos fenômenos de transporte, e de fatores meteorológicos (DE MELO LISBOA, 1996). Assim, é grande a vantagem de se ter uma estação meteorológica no local da emissão.

A direção do vento no local da fonte determina a direção inicial do transporte dos poluentes. A componente horizontal é mais significativa neste transporte do que a componente vertical dos ventos.

Uma mudança de 5 graus na direção da velocidade do vento pode causar uma redução de até 90 % nas concentrações num determinado ponto, dependendo da condição da atmosfera, (MORAES, 2001).

Analisando a Figura 1 pode-se observar que o intervalo de tempo dos dados utilizados é de fundamental importância. Quanto menor o intervalo de tempo entre os dados, mais instantâneos são os resultados das concentrações e, conseqüentemente, mais distantes de valores médios, ou seja, mais reais.

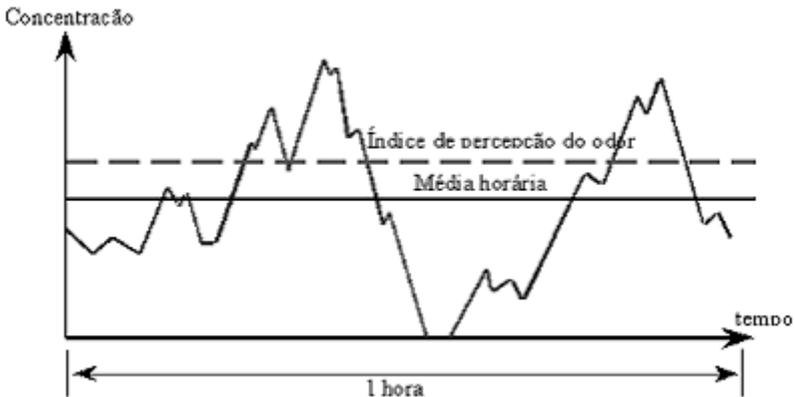


Figura 1 - concentração real de odores em um ponto receptor. Fonte: DE MELO LISBOA, 1996.

2.3. Modelos computacionais de dispersão atmosférica

Neste capítulo serão abordados alguns modelos computacionais utilizados como ferramentas de determinação de concentrações de poluentes ou odores na atmosfera.

2.3.1. Classificação dos modelos

Os modelos computacionais de dispersão de poluentes na atmosfera podem ser classificados em função da abordagem e das hipóteses simplificadoras utilizadas por cada um deles.

- Modelos Lagrangeanos

Nos modelos Lagrangeanos se define uma região do ar como uma caixa contendo uma concentração inicial de poluentes. Os modelos

lagrangeanos seguem então a trajetória dessa caixa, como se ela se movesse segundo a direção do vento. A concentração dos poluentes é obtida a partir do termo geração associado a uma função densidade de probabilidade que faz com que o poluente se desloque na direção dos ventos, de um ponto x para um ponto x' . Modelos lagrangeanos incorporam mudanças na concentração em função da velocidade média dos fluidos, componentes de turbulência devidas ao vento e difusão molecular (HOLMES E MORAWSKA, 2006).

Os modelos lagrangeanos não utilizam um sistema de coordenadas fixas e trabalham com técnicas de rastreamento de partículas para a definição da concentração de um poluente em um determinado local do espaço.

- Modelos Gaussianos

Modelos do tipo gaussiano são amplamente utilizados na modelagem de dispersão atmosférica, em particular para fins regulatórios, e estão freqüentemente associados a modelos Eulerianos e Lagrangeanos. Os modelos Gaussianos são baseados na distribuição gaussiana da pluma na direção vertical e horizontal em regime permanente. A distribuição gaussiana se modifica a grandes distâncias em decorrência do efeito da turbulência na camada da superfície da terra e da camada limite, quando a altura de mistura é baixa (HOLMES E MORAWSKA, 2006). A Figura 2 apresenta uma ilustração esquemática do modelo de pluma gaussiana, tomada a partir de uma fonte pontual.

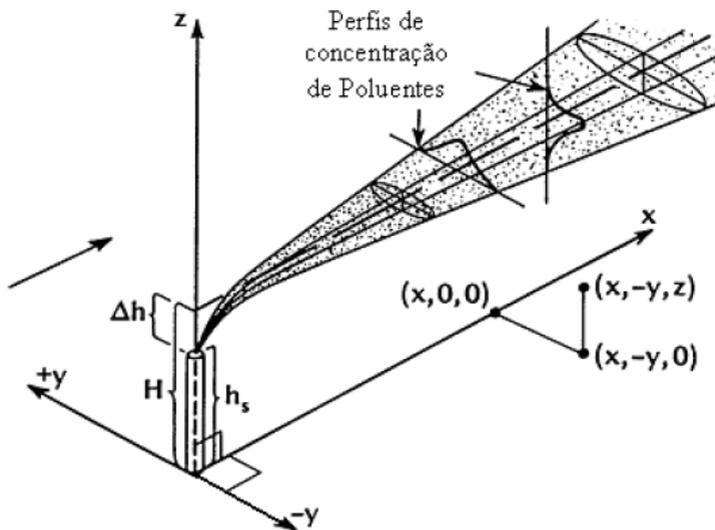


Figura 2 - Ilustração esquemática do modelo gaussiano (New Zealand Ministry for the Environment, 2004).

Uma das grandes limitações destes modelos, considerando a modelagem de dispersão de partículas, é que, em decorrência da consideração de regime permanente, os modelos não levam em consideração o tempo para que o poluente chegue até o receptor. Apesar de muitos modelos gaussianos somente considerarem a difusão e a advecção dos poluentes, modelos gaussianos mais avançados têm recentemente sido desenvolvidos de forma a incorporar processos físicos como deposição e reações químicas. Além disso, as equações da pluma gaussiana assumem que não há interação entre plumas, o que pode ser significativo para áreas urbanas.

Algumas restrições inerentes aos modelos de pluma gaussiana podem ser superadas pela aproximação das emissões como uma série de pequenas emissões de poluentes no ar (*puffs*) ao longo do tempo, o que permite considerar variações na velocidade do vento. Neste caso, cada emissão comporta-se de acordo com uma equação de dispersão gaussiana e a contribuição total da fonte é dada pela soma das contribuições de cada uma das emissões sobre a posição do receptor (HOLMES E MORAWSKA, 2006). Caputo *et al.* (2003), indicam que

os modelos de pluma gaussiana apresentam uma concentração de poluentes diferente de zero em toda a extensão do domínio, segundo a direção do vento, porém o domínio deve se limitar a algumas dezenas de quilômetros.

2.3.2. Modelo AERMOD

A concentração de um poluente atmosférico sobre um determinado receptor depende de uma série de fatores como: tipo de fonte geradora, vazão e concentração do poluente na emissão, bem como, das condições de dispersão o mesmo na atmosfera, que por sua vez, é função das características do ambiente. As principais características são a velocidade e direção do vento, a estabilidade atmosférica, a topografia e as características físicas das fontes geradoras, como diâmetro e altura de chaminés e a disposição destas fontes no terreno (MOTA, 2000).

O sistema computacional usado para a simulação da dispersão dos poluentes no presente estudo consiste de um programa principal, o AERMOD, e dois pré-processadores, AERMET e AERMAP. O pré-processador AERMET tem por função principal, organizar os dados meteorológicos disponíveis para o uso pelo AERMOD. Já o pré-processador AERMAP faz o pré-processamento dos dados de terreno e de localização das fontes e receptores para posterior uso pelo AERMOD. Na seqüência são descritos, de modo sucinto, o programa AERMOD e os pré-processadores AERMET e AERMAP.

A formulação da dispersão de poluentes na camada limite convectiva representa um dos mais importantes avanços do modelo AERMOD, quando comparado com os demais modelos regulatórios existentes (manual AERMOD, 2004). O modelo AERMOD assume que a pluma é transportada através de porções definidas como porção inferior e porção superior da pluma, como mostra a Figura 3, que representa a distribuição da pluma na camada limite convectiva (manual AERMOD, 2004).

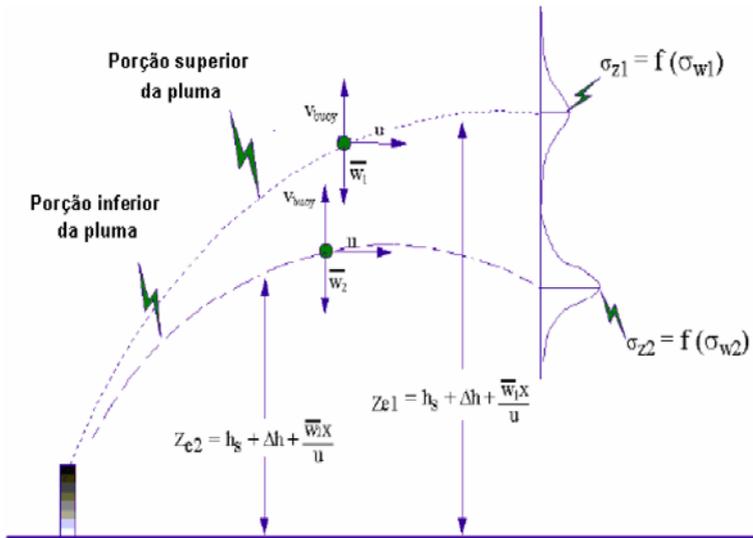


Figura 3 - Aproximação da distribuição da pluma na CLC (adaptado do manual AERMOD, 2004).

A Figura 4 ilustra a forma como o modelo AERMOD realiza o tratamento da pluma na camada limite convectiva. Conforme ilustra a Figura 4, o modelo AERMOD considera três situações para o tratamento da pluma, para fins de previsão da concentração de um determinado poluente: a contribuição da fonte direta, a contribuição da fonte indireta e a contribuição da fonte que penetra além do topo da camada limite convectiva.

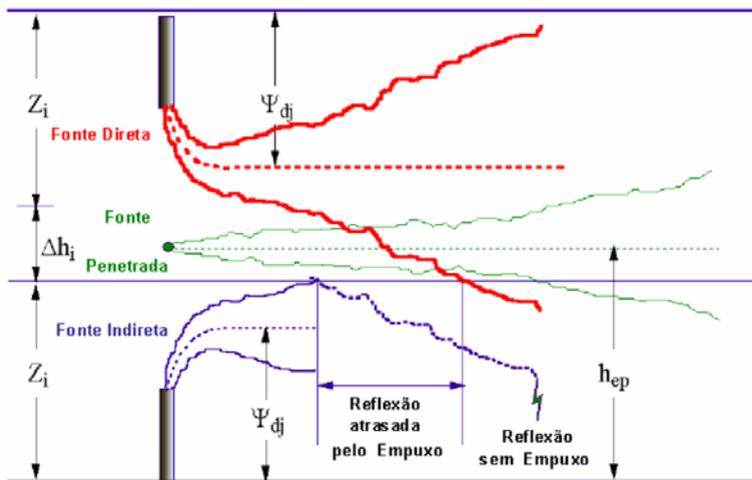


Figura 4 - Tratamento da Pluma na Camada Limite Convectiva pelo modelo AERMOD (adaptado de EPA, 2004a).

A contribuição da fonte direta, em termos de concentração no nível do solo, se dá quando a velocidade na linha superior da pluma é suficientemente grande a ponto de se sobrepor à velocidade de ascendência da pluma carregando-a para a superfície. A fonte indireta consiste no tratamento da porção da pluma que primeiro atinge a altura da camada limite convectiva, denotada na Figura 4 por Z_i , e então é carregada à superfície. Ocorre um “atraso” em relação à contribuição da fonte direta decorrente da ação das forças de empuxo. Finalmente, o modelo AERMOD calcula a contribuição da porção da pluma que penetra além da camada limite e reentra nesta camada posteriormente, dispersando-se na CLC, atingindo a superfície.

A concentração total é obtida pelo modelo AERMOD, somando a contribuição de cada uma das três contribuintes ilustradas na Figura 4, conforme a Equação 1 (manual AERMOD, 2004).

$$C(x, y, z) = C_d(x, y, z) + C_p(x, y, z) + C_r(x, y, z) \quad \text{Equação 1}$$

A contribuição da fonte direta é obtida a partir da Equação 2 (manual AERMOD, 2004).

$$C_d(x, y, z) = \frac{Qf_p}{\sqrt{2\pi}u} F_y \sum_{j=1}^2 \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\lambda_j}{\sigma_{zj}} \left[\exp\left(-\frac{(z - \Psi_{dj} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + \Psi_{dj} + 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) \right]$$

Equação 2

com:

$$\Psi_{dj} = h_s + \Delta h_d + \frac{\bar{w}_j x}{u} \text{ e } F_y = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \right)$$

Onde:

C_d = concentração devida a fonte direta ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Q = taxa de emissão pela chaminé ($\mu\text{g}/\text{s}$)

u = velocidade do vento (m/s)

σ_x, σ_y = coeficientes de dispersão lateral e vertical

f_p = fração do material emitido pela fonte que permanece na camada limite convectiva, $0 < f_p < 1$

$j=1$ para linha inferior da pluma e 2 para linha superior da pluma

Ψ_{dj} = altura entre a base da fonte e a linha central da pluma (m)

λ = coeficiente de distribuição

A contribuição da fonte indireta é obtida a partir da Equação 3 (manual AERMOD, 2004):

$$C_r(x, y, z) = \frac{Qf_p}{\sqrt{2\pi}u} F_y \sum_{j=1}^2 \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\lambda_j}{\sigma_{zj}} \left[\exp\left(-\frac{(z + \Psi_{rj} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z - \Psi_{rj} + 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) \right]$$

Equação 3

Com:

$$\Psi_{rj} = \Psi_{dj} - \Delta h_i$$

sendo que Δh_i representa a parcela da pluma que ascende além do topo da camada limite convectiva (Figura 3) e C_r representa a parcela da pluma emitida pela fonte indireta.

A contribuição da fonte que penetra além do topo da camada limite convectiva é dada pela Equação 4 (manual AERMOD, 2004):

$$C_p(x, y, z) = \frac{Q(1-f_p)}{\sqrt{2\pi}u\sigma_{zp}} F_y \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left[\exp\left(-\frac{(z-h_{op}+2mz_e)^2}{2\sigma_{zp}^2}\right) + \exp\left(-\frac{((z+h_{op}+2mz_e))^2}{2\sigma_{zp}^2}\right) \right]$$

Equação 4

Onde:

Z_i = altura da camada de mistura mecânica (m)

H_{ep} = altura da pluma que penetra além do topo da camada limite convectiva (m)

Analisando-se as Equação 2 e Equação 4, que se referem às equações da pluma gaussiana, pode-se observar que o termo à esquerda da igualdade representa a concentração de um determinado poluente em um ponto qualquer do espaço. O termo $\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)$, dado por F_y , representa a parcela da concentração relativa à dispersão segundo a direção do vento. O primeiro termo interno aos colchetes corresponde a parcela da concentração decorrente da dispersão vertical dos poluentes, enquanto o segundo termo no interior dos colchetes representa o acúmulo de poluente que se dá em função da consideração do efeito do contorno sólido ou contorno de reflexão, devido ao solo.

2.3.3. Descrição do pré-processador AERMET

O AERMET, segundo a EPA (manual AERMOD, 2004) consiste em um pré-processador de dados meteorológicos, cuja principal atribuição é organizar os dados meteorológicos disponíveis preparando-os para o uso no AERMOD.

A principal função do AERMET é a determinação dos parâmetros da camada limite para posterior uso pelo AERMOD, que se utiliza destes parâmetros para gerar o perfil de variáveis meteorológicas necessário à simulação da dispersão dos poluentes. São fornecidas ao AERMET características de superfície como albedo, rugosidade da superfície e informações de observações meteorológicas, tais como: velocidade e direção do vento, temperatura e cobertura de nuvens. O AERMET calcula os parâmetros da camada limite: velocidade de fricção, comprimento de Monin-Obukhov, escalas de velocidade convectiva e de temperatura, altura de mistura e fluxo de calor. Estes valores são passados à interface meteorológica do AERMOD através de

dois arquivos: *aermet.pfl* e *aermet.sfc*, que são utilizados na determinação do perfil vertical de velocidades do vento, do coeficiente de turbulência vertical e lateral e do gradiente de temperaturas, utilizados pelo AERMOD no processo de cálculo da dispersão atmosférica de poluentes (manual AERMOD, 2004).

Dados de Entrada para o AERMET

Cimorelli *et al.* (2004) indicam que o AERMET requer, como dados de entrada, características da superfície, cobertura de nuvens, dados de temperatura de altitude, obtidos a partir de sondagens da atmosfera e uma medição dos dados de velocidade e direção do vento e temperatura próximos da superfície. Ainda de acordo com Cimorelli *et al.* (2004), com estes dados o modelo calcula a velocidade de fricção, o comprimento de Monin-Obukhov, a velocidade convectiva, a escala de temperaturas, a altura de mistura e o fluxo de calor.

Os dados mínimos requeridos para que o AERMET efetue a leitura, processe os dados e retorne com os dois arquivos de entrada do AERMOD, conforme o manual AERMOD (2004), são observações horárias da superfície e dados de sondagens da atmosfera.

Dados de saída do AERMET

O AERMET, como citado anteriormente, estima os parâmetros da camada limite que serão utilizados como dados de entrada do AERMOD. Neste processo, produz dois arquivos de dados de saída (*aermet.pfl* e *aermet.sfc*). O arquivo de dados *aermet.pfl* apresenta informações relativas aos parâmetros da camada limite, calculados pelo AERMET, enquanto o arquivo *aermet.sfc* contém os dados meteorológicos de superfície.

2.3.4. Descrição do pré-processador AERMAP

O AERMOD é um sistema que, segundo EPA, foi concebido para calcular concentrações de poluentes do ar para todos os tipos de terreno, desde terrenos planos até montanhosos, ditos complexos. O pré-processador AERMAP foi então desenvolvido para pré-processar os dados de terreno, em conjunto com a localização dos receptores e das fontes e fornecer ao AERMOD as informações relacionadas ao terreno. Ainda de acordo com a EPA, modelos regulatórios de dispersão, aplicáveis a terrenos planos ou montanhosos, necessitam informações

sobre o tipo de terreno, pois assumem que essas informações são relevantes e podem interferir no resultado de concentração de um determinado poluente sobre um receptor qualquer. Assim, as principais funções do AERMAP são a determinação da elevação da base das fontes e dos receptores, fornecendo estas informações ao AERMOD para posterior determinação da concentração de poluentes.

Dados de Entrada para o AERMAP

Para poder definir as altitudes do terreno e dos receptores o AERMAP requer dois tipos de dados de entrada: a localização das fontes e dos receptores e um arquivo com os dados topográficos. Alguns dos formatos dos arquivos topográficos são DEM e SRTM.

Dados de saída do AERMAP

Os dados de saída do AERMAP funcionam para que o AERMOD consiga localizar as fontes de emissão de poluentes e os receptores, ou seja, os locais onde se deseja obter a concentração dos poluentes. Segundo EPA, como produto do AERMAP é esperado um arquivo de dados saída, tipo (aermap.out), que contém dados das fontes e dos receptores, incluindo altura de cada um desses pontos.

2.4. Fonte Emissora

O primeiro passo para estudar a dispersão de odores é o estabelecimento da fonte. Como fontes, existem fontes superficiais e fontes pontuais. É necessário entender que existem diferenças de temperaturas e velocidades, de emissões de chaminés, comparadas a atmosfera, onde se dará a dispersão. A Altura Efetiva (H) de uma emissão pontual raramente corresponde à altura física da chaminé (h), ambas as dimensões podem ser visualizadas na Figura 5. Como descrito por Zanetti (1990), a maioria das plumas emitidas de fontes estacionárias possui temperatura superior a do ar ambiente, o que induz uma força de empuxo. Concomitantemente, os poluentes são lançados à atmosfera através da velocidade do fluxo gasoso. Ambos os fatores contribuem com o aumento da altura da pluma acima da chaminé (ΔH).

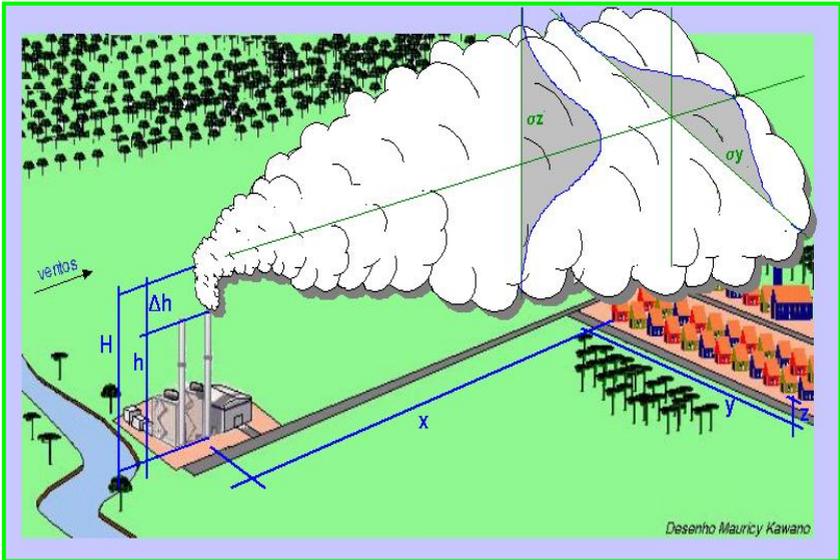


Figura 5 – Apresentação das dimensões. Fonte: KAWANO, 2003.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A execução deste trabalho se dará através da utilização de dados de uma estação de depuração de efluentes localizada em Frielas, Portugal. Os dados meteorológicos utilizados na simulação são provenientes de uma estação meteorológica compacta, instalada na própria estação de depuração de efluentes.

3.1. Local de estudo

Por questão de sigilo, dados específicos da ETE não serão disponibilizados neste trabalho. Porém, pode-se observar os mapas a seguir para esclarecer a localização do estudo. Na Figura 6, pode-se observar o mapa de Portugal e Espanha contendo um ponto vermelho, que mostra a localização da estação de tratamento de efluentes. O setor UTM que será utilizado durante a simulação é o 29 S.



Figura 6 – Localização da estação de tratamento de efluentes.

Na Figura 7, pode-se observar a aproximação da região metropolitana de Lisboa, e a estação de tratamento de efluentes. A estação está localizada a aproximadamente 12 km de Lisboa.

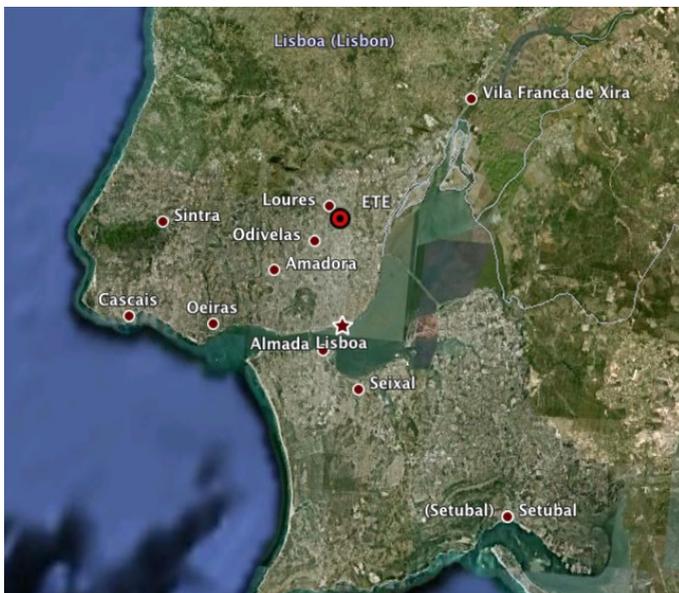


Figura 7 – Mapa aproximado de Lisboa, Portugal, com a localização da ETE.

A aproximação do município de Frielas com a estação de efluentes pode ser vista na Figura 8. Podem também ser visualizados, nesta figura, os municípios ao redor da estação.

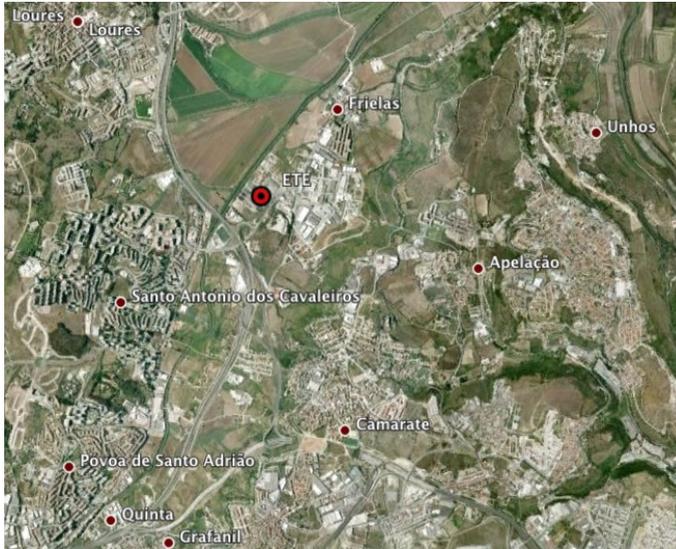


Figura 8 – Mapa Aproximado de Frielas, Portugal, com a localização da ETE.

O domínio de estudo é definido pela localização das fontes emissoras e possíveis receptores críticos. Como o objetivo deste estudo é determinar o impacto imediatamente ao redor do emissor, o campo de estudo será 10x10 km.

A Figura 9 mostra o domínio de estudo. O quadrado vermelho possui arestas de 10 km, demarcando assim a área de estudo de 100 km². As fontes emissoras de odor estão situadas no centro deste quadrado.

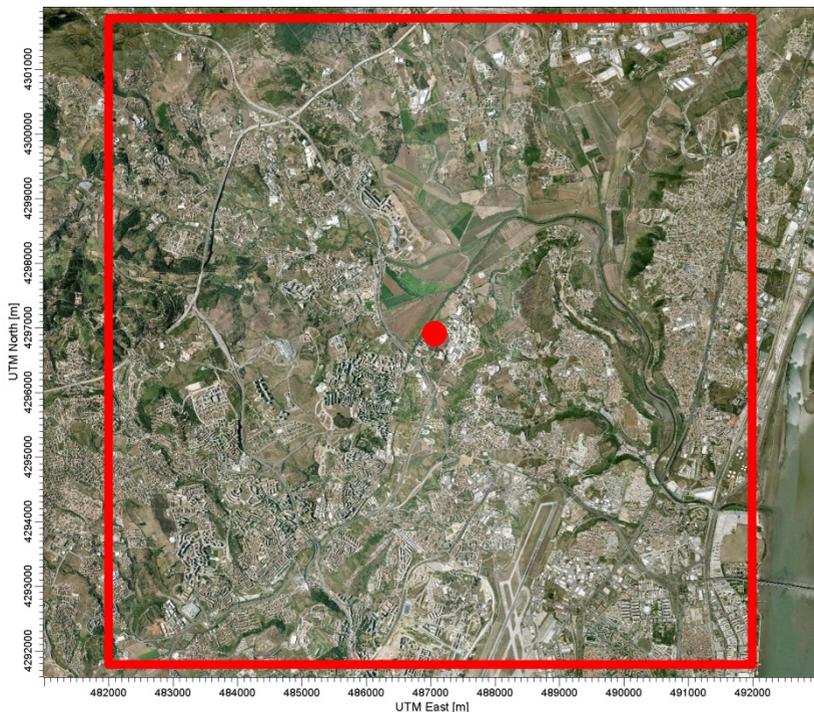


Figura 9 – Domínio do estudo.

3.2. Topografia da área de estudo

A topografia de um terreno afeta a dispersão atmosférica dos odores. A área de estudo apresenta uma altitude média de 60 metros. Os dados topográficos digitais foram conseguidos pelo sistema WebGIS (2010). A resolução dos dados topográficos é de 90 metros. O resultado da interpolação destes dados topográficos está apresentado nas Figuras 10 e 11.

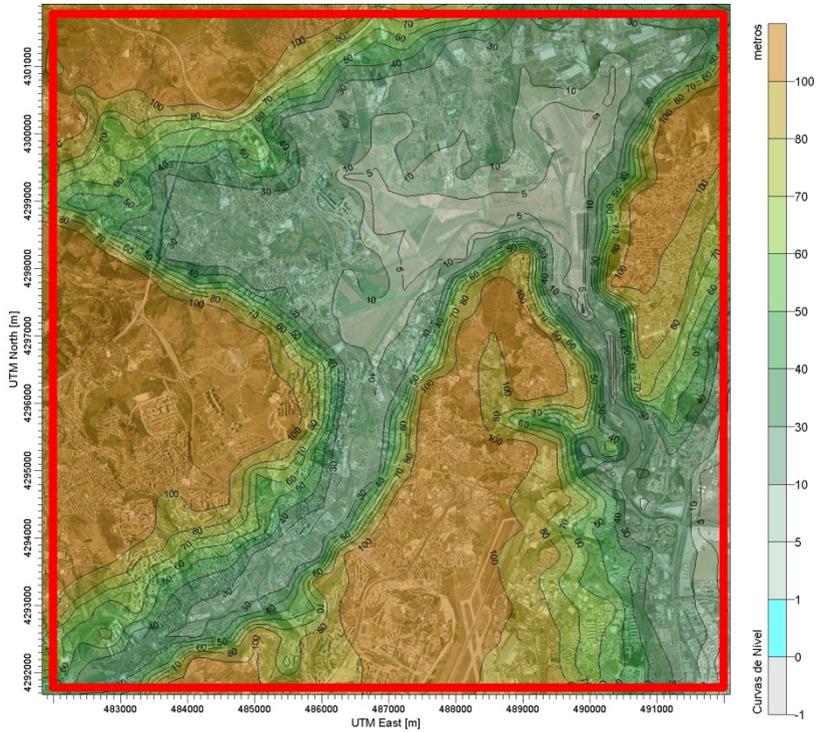


Figura 10 - Topografia da área de estudo.

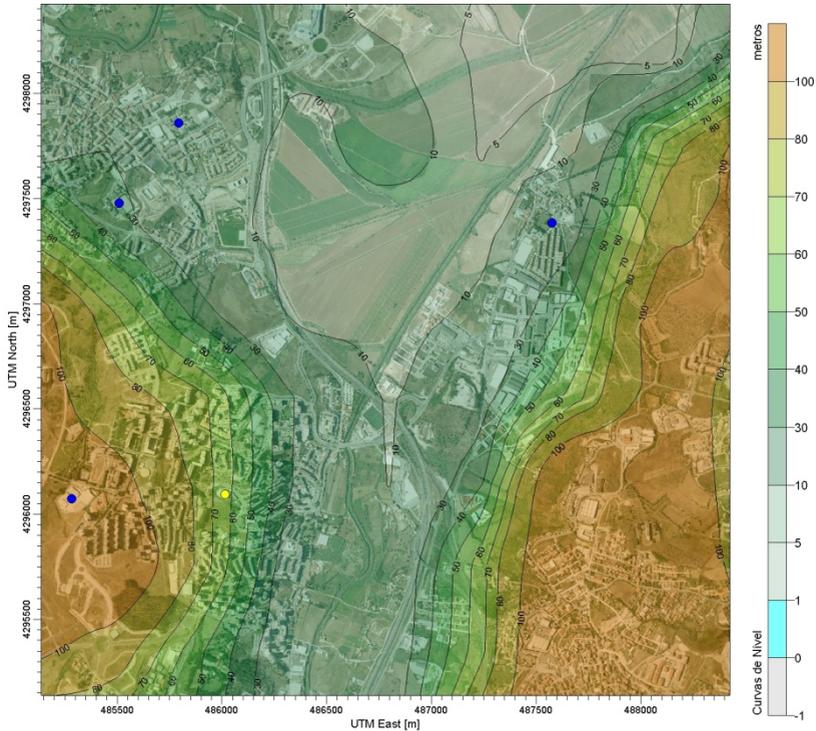


Figura 11 - Detalhamento da topografia no local de estudo.

Após a aquisição dos dados topográficos, um programa auxiliar do Aermod, chamado AERMAP, faz a interpolação dos dados topográficos e determina assim a altura do solo para cada receptor definido.

3.3. Dados meteorológicos

O local de estudo possui uma estação meteorológica simples, com aquisição de dados contínua e automática, com intervalos de 1 minuto. Os dados adquiridos por ela são: direção e velocidade do vento, temperatura, radiação, pressão, precipitação e umidade. Na Tabela 3 pode-se observar os parâmetros limites para a estação meteorológica compacta, modelo Davis Vantage PRO2.

Tabela 3 – parâmetros da estação meteorológica Vantage PRO2.

Parâmetro	Unidade	Precisão	Erro	Valor Mín	Valor Máx
Dir. Vento	°	1	7	0	360
Vel. Vento	m/s	0.5	1	0	54
Temperatura	°C	0.1	0.5	-40	60
Radiação	W/m ²	1	5%	0	1800
Pressão	mmHg	0.1	1.3	660	810
Precipitação	mm	0.25	4%	0	999.9
Humidade	%	1	3	0	100

Na Figura 12, pode-se observar um exemplo de montagem de uma estação meteorológica Davis Vantage Pro2, porém esta imagem não contempla o equipamento de captura de radiação solar. A estação instalada na ETE pode ser visualizada na Figura 13. O anemômetro da estação meteorológica está situado a uma altura de 15 metros da superfície da laje do edifício onde foi instalado.



Figura 12 – Modelo de estação Vantage Pro2.



Figura 13 – Torre meteorológica instalada no local de estudo.

3.4. Aquisição de dados

A aquisição de dados é feita através do equipamento OdoWatch® da empresa Odotech. Este sistema é composto de uma estação meteorológica, um nariz eletrônico e um computador para cálculo dos dados. Nariz eletrônico é um sistema de análise de ar através de 16 sensores resistivos não específicos. As informações dos sensores são então analisadas pelo computador para interpretá-los como uma concentração de odor. Os narizes eletrônicos são posicionados conforme mostra a Figura 14, a área verde na porção inferior da figura apresenta a área de emissão de odores vinculada ao nariz eletrônico 1. Para o nariz eletrônico 2 não é apresentada a fonte emissora pois esta é pontual e imediatamente abaixo do mesmo. O nariz eletrônico 2 pode ser visto na Figura 15. Ao serem captados pela estação meteorológica, os dados meteorológicos são automaticamente salvos numa base de dados SQL, no computador de processamento. O nariz eletrônico possui um ciclo de análise de 4 minutos. Portanto, os dados armazenados no computador correspondem ao intervalo de tempo de 4 minutos. Posteriormente, estes

dados são analisados e cruzados com dados meteorológicos a fim de simular em tempo real a forma que a dispersão dos odores está ocorrendo. Como a captura de dados destes narizes eletrônicos ocorre a cada 4 minutos, é fundamental que as unidades de tempo da fonte e das condições meteorológicas tenham a mesma grandeza.

Infelizmente, neste estudo não pode ser possível a avaliação dos dados do nariz eletrônico, pois o cálculo dos dados de emissão para os últimos 365 dias levaria em torno de 180 dias. No período que compreende esta simulação foi efetuada uma migração do banco de dados do sistema. Sendo assim, é necessário o recálculo de todos os valores históricos de emissão baseado nos valores de resistência dos sensores de cada nariz eletrônico. Para efetuar o recálculo é necessário 1 dia de processamento para cada 2 dias passados, ou seja, para 1 ano de dados de concentração de emissão faltantes será necessário esperar 6 meses para obter o resultado do recálculo. Portanto a simulação foi feita com o resultado da amostragem, não levando em consideração a variação anual da emissão.



Figura 14 – Disposição dos narizes eletrônicos.



Figura 15 – Sistema de nariz eletrônico OdoWatch® instalado no local.

3.5. Configuração dos receptores

Sobre toda a área de estudo foi colocado uma grelha de receptores com espaçamento de 100m nos primeiros 2km de distância da fonte (Leduc, 2005), e entre 2 e 5 km esse espaçamento foi aumentado para 200m. A razão disto é que a precisão a grandes distâncias da fonte é reduzida e possui somente caráter investigativo, pois as concentrações não devem chegar aos mínimos de impacto estipulados. Todos os receptores foram modelizados a uma altura de 1,5 metros da superfície, pois esta altura representa a altura média humana dos narizes.

Além destes receptores foram também pesquisados receptores específicos de interesse comunitário, como hospitais e escolas. Na Tabela 4 estão descritos os receptores específicos e na Figura 16 estão mostrados os receptores específicos em azul para escolas, amarelo para hospitais e vermelho para a fonte emissora de odor. Na Figura 17 pode-se visualizar a disposição da grelha de receptores na forma de pontos verdes.

Tabela 4 – receptores específicos.

Recept Discreto	Categoria	Descrição
1	escola	Escola Primária e Parque Infantil (Frielas)
2	escola	Escola Sec. com 3º ciclo Dr. Ant. Carvalho Figueiredo (Loures)
3	escola	EB 2 3 Luís de Sttau Monteiro
4	escola	EB 2 3 General Humberto Delgado (Santo António dos Cavaleiros)
5	hospital	Extensão de Saúde Santo António dos Cavaleiros (Santo António dos Cavaleiros)

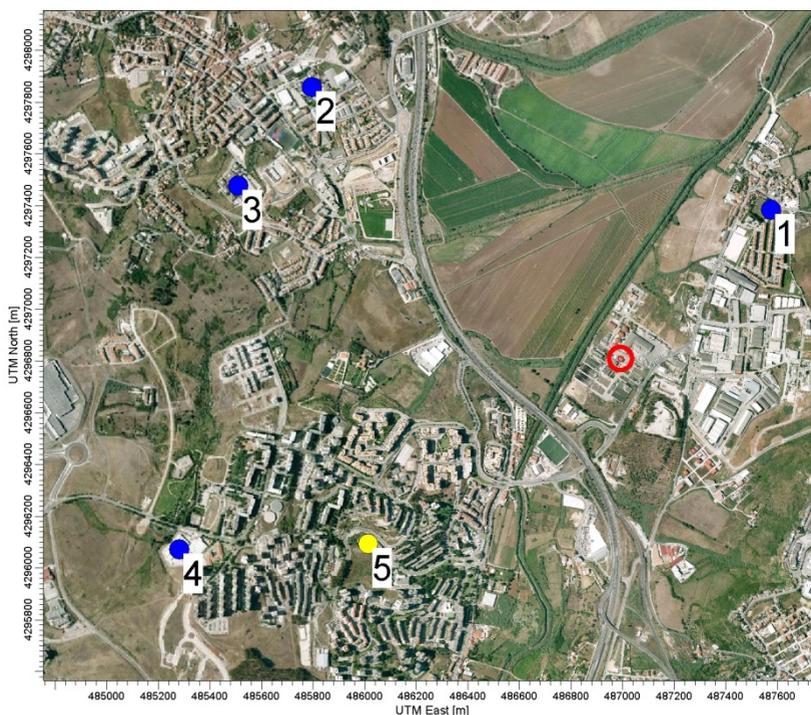


Figura 16 – Receptores específicos.

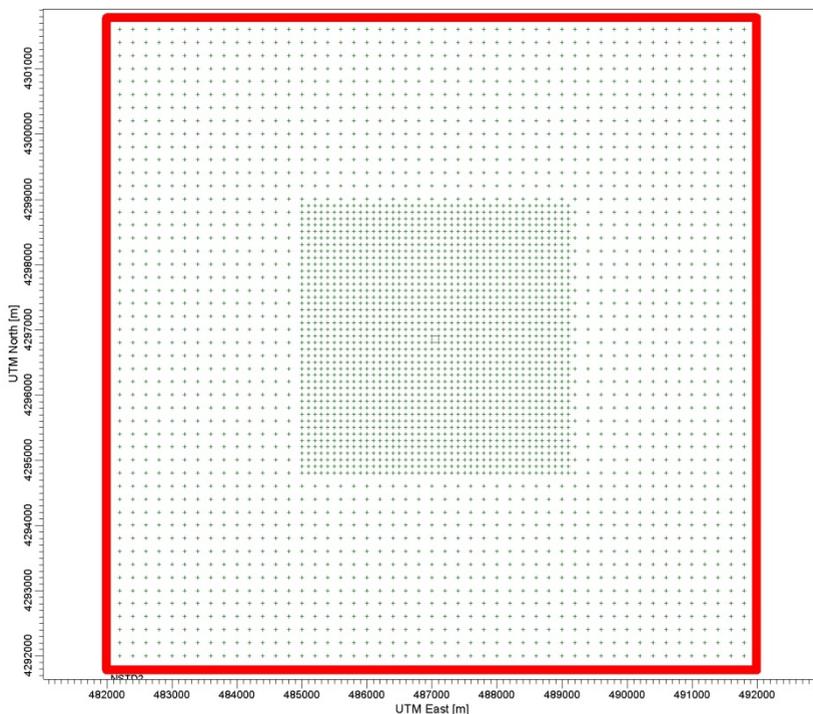


Figura 17 – Rede de receptores.

3.6. Determinação das fontes emissoras

Neste estudo será simulada a dispersão de odores proveniente de duas fontes: um tanque de equalização, e um poço que recebe os resíduos do tratamento antes que estes sejam transportados para um aterro sanitário.

A análise da emissão do tanque de equalização e do poço de resíduos foram efetuados na localização do nariz eletrônico 1 e 2 respectivamente, como pode ser visto na Figura 14. Uma visualização mais detalhada dos pontos amostrados pode ser vista nas Figuras 18 e 19.



Figura 18 – Tanque de Equalização.



Figura 19 – Poço de resíduos.

O motivo de somente estas duas fontes serem analisadas se deve ao fato de que estas são as principais contribuintes para a emissão odorante da ETE avaliada neste estudo. Outras fontes conhecidas de uma estação de tratamento de efluentes como, por exemplo, decantadores e bioreatores recebem um tratamento de desodorização neste caso, por isso são desconsiderados neste estudo.

As emissões olfativas se determinam amostrando e analisando as emissões das fontes odorantes. Os gases emitidos pelas fontes são amostrados segundo um método de amostragem reconhecido e adaptado ao tipo de fonte considerada. A análise olfométrica das amostras recolhidas permite então avaliar a sua concentração de odor.

3.7. Amostragem de odores

As amostras de odor de fontes superficiais são recolhidas com o auxílio da câmara de fluxo dinâmico ODOFLUX[®], este equipamento pode ser visualizado na Figura 20. Esta permite quantificar as taxas de emissão na interfase entre dois meios, seja a interface solo/ar ou a interface água/ar. Esta técnica permite amostrar o gás realmente emitido por uma fonte de superfície sem perturbar a evaporação natural do gás.

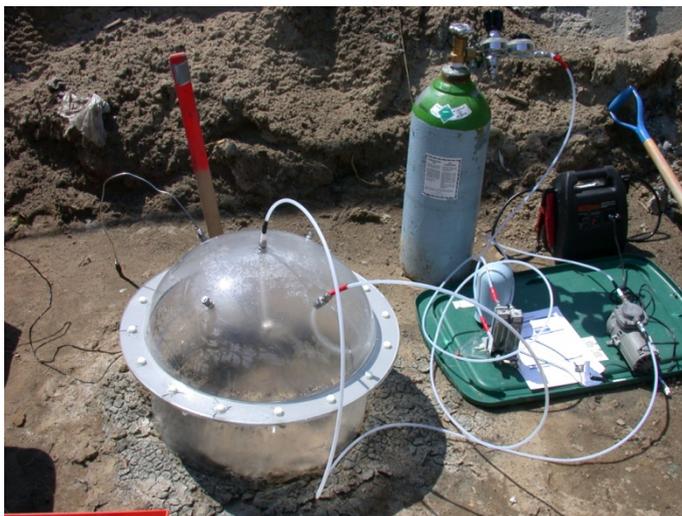


Figura 20 – Câmara de fluxo dinâmico, ODOFLUX[®].

ODOFLUX[®] é alimentado por ar comprimido a partir de um cilindro de gás a uma vazão controlada. A amostra odorante é então aspirada da câmara de fluxo, com o auxílio de uma bomba, na mesma vazão que esta é alimentada, e controlada com o auxílio de um rotâmetro.

O conjunto de tubos, superfícies, conexões e processos mecanizados que estão em contato com o gás amostrado são compostos de Teflon[®], Nalophane, aço inoxidável ou vidro.

A amostragem é realizada com o auxílio de uma bomba e de tubos em Teflon[®], e de rotômetros de vidro e em aço inoxidável. As amostras de odor são coletadas em sacos de Tedlar de 60 L e são mantidas em temperatura ambiente durante o transporte. As análises de odores são realizadas em triplicata, para evitar que peculiaridades ocorram durante a análise.

3.8. Quantificação dos odores

A análise olfatométrica é uma análise sensorial quantitativa que permite determinar o limiar de percepção olfativa de uma amostra gasosa. Esta análise sensorial é realizada com o auxílio de um olfatômetro de diluição dinâmica calibrado, ODILE[®]. A olfatométrica de diluição dinâmica consiste em apresentar aos jurados diluições de uma amostra odorante com ar puro em tubos de olfativos, como apresentado nas Figuras 21 e 22. As respostas dos jurados são em seguida contabilizadas (são então contadas). O resultado obtido corresponde ao limiar de percepção olfativo, que é definido como sendo a taxa de diluição necessária da amostra com ar puro para a qual 50% de um júri é capaz de perceber o odor.

O limite de percepção odorante (LPO) é equivalente a 1 unidade de odor por metro cúbico de ar (U.O./m³). O número de diluições necessárias para se obter o limiar de percepção define a concentração de odor. Por exemplo, se tiver que diluir 10 vezes a amostra para atingir o limiar de percepção do júri, a amostra terá 10 unidades de odor, ou 10 U.O./m³. As análises olfatométricas e estatísticas foram conduzidas de acordo com as especificações da norma ASTM E679-2004(ASTM E679-2004). Os resultados considerados neste estudo são aqueles determinados pelo método ASTM E679-2004.



Figura 21 - Júri em análise com olfatômetro ODILE[®].



Figura 22 – Tubos olfativos do ODILE[®].

A concentração de odor no ar ambiente será determinada através da modelização da dispersão do odor gerado nas fontes estudadas aqui. Os resultados de simulações jamais serão 100% condizentes com a realidade, porém permitem um bom entendimento da situação.

Para uma boa visualização dos resultados de concentração de odor no entorno da ETE os valores serão apresentados de 3 formas: concentração máxima absoluta, percentil 98 e percentil 90. Os percentis representam a concentração máxima simulada por cada um dos receptores eliminando-se casos atípicos. Por exemplo, no cálculo do percentil 98 serão eliminados os 2% de concentrações mais altas obtidas, ou seja, em 98% do tempo as concentrações estarão abaixo da concentração máxima P98. A avaliação do percentil 90 visa a comparação com o percentil 98 para saber se os altos valores de concentração são contínuos ou esporádicos.

Estudos mostram que a resposta que do nariz humano não é linearmente correlacionada com a concentração do odor (não é diretamente proporcional) a concentração do odor e que a correlação entre a concentração e a intensidade depende do tipo de odor. Na verdade, dois odores são incômodos em diferentes concentrações, de acordo com seu tipo e sua intensidade. Do mesmo modo, dois odores de mesma concentração não têm a mesma intensidade e assim, ocasionalmente não causam o mesmo incômodo.

Além disso, o incômodo olfativo não depende somente do nível de odor (intensidade e concentração) mas também de suas flutuações. O nariz humano habitua-se a um odor e isso ameniza o incômodo especialmente se os odores percebidos são de fraca intensidade.

De acordo com McGinley e McGinley (2006), a concentração odorífica pode apresentar a seguinte percepção:

1 U.O./m³ : limite de percepção do odor, onde 50% da população detectaria o odor;

2 U.O./m³ : limite de reconhecimento do odor, onde 50% da população qualificaria o odor;

5 U.O./m³ : limite de discernimento, onde 50% da população identificaria o odor;

10 U.O./m³ : limite onde espera-se reclamações provenientes de incômodos gerados pelo odor.

Por este motivo estes valores foram incluídos na escala de concentração de odor de cada gráfico de isoconcentrações. Além destes valores foi acrescentada também a concentração de 0,5 U.O./m³ para fins de observação da dispersão, já que os valores de dispersão podem ser baixos e esta concentração não é normalmente detectável.

3.8.1. Cálculo de emissão com a câmara de fluxo

Para efetuar o cálculo de emissão de odores através de uma análise de câmara de fluxo considera-se a concentração de saída da câmara relacionada à superfície amostrada ao fluxo de ar, como demonstrado na Equação 1.

$$E = C * Q * A \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

E = Emissão [U.O./m².s]

C = Concentração de odor [U.O./m³]

Q = Fluxo de ar na câmara [m³/s]

A = Área da superfície amostrada [m²]

3.9. Utilização do modelo AERMOD

Para auxiliar na utilização do AERMOD será utilizada uma interface gráfica da Lakes Environment, chamada AERMODView versão 6.5.0. Além desta, a interface também conta com processador de dados topográficos chamado AERMAP, que gera valores topográficos para o AERMODView.

3.9.1. Dados meteorológicos

A metodologia de cálculo das médias utilizadas para as condições meteorológicas foi de média simples, com exceção da direção do vento, que foi calculada por média vetorial. Os parâmetros meteorológicos e de condição atmosféricas para a simulação podem ser observados na Tabela 5.

Os parâmetros velocidade, direção e altura de medição do vento, temperatura, altura de medição da temperatura e radiação solar foram adquiridos diretamente através da estação meteorológica. Os restantes foram calculados a partir da utilização do solo e de cálculos relacionando a utilização de solo e condições meteorológicas.

Tabela 5 - Parâmetros meteorológicos de entrada para o AERMODView.

Parâmetros	Descrição
Direção do Vento	Direção de onde provém o vento (0-359°)
Velocidade do vento	Velocidade do vento (m/s)
Altura de medição do vento	Altura onde está instalada o anemômetro (m)
Albedo	Fração do total de radiação solar que é refletida de volta ao espaço sem que seja absorvida (Φ)
Rugosidade do solo	Determina a que altura do solo a velocidade horizontal do vento é tipicamente 0 m/s (m)
Razão de Bowen	Indicador de umidade da superfície, é a relação entre o fluxo de calor sensível para o fluxo de calor latente (adimensional)
Velocidade de fricção	Determina o transporte vertical do momento horizontal do vento (m/s)
Comprimento Monin-Obukhov	Parâmetro de estabilidade que utiliza a velocidade de fricção e o fluxo de calor (m)
Altura de mistura mecânica	Determina a base de uma inversão térmica considerando a velocidade de fricção (m)
Altura de mistura convectiva	Determina a base de uma inversão térmica considerando o fluxo de calor (m)
Velocidade de convecção	Calculado a partir das alturas de mistura e do fluxo de calor (m/s)
Variação vertical de temperatura	Variação de temperatura nos 500m acima do solo (K/m)
Temperatura	Temperatura do ar ambiente (K)
Altura de medição da temperatura	Altura onde está instalado o termômetro (m)
Fluxo de calor	Calculado com base na latitude do local e na radiação solar (W/m^2)

3.9.2. Determinação do uso do solo

Para avaliar o uso do solo foi obtida uma imagem de satélite do Google Maps Pro[®] de alta resolução. Esta imagem foi colocada em escala no software AutoCAD 2010[®]. A identificação dos diversos usos de solo é feita visualmente, podendo ocorrer erros de definição do uso de solo da área.

A imagem de satélite é composta por múltiplas imagens sobrepostas. No caso de Frielas, Portugal, a imagem atualizada foi a do dia 11 de dezembro de 2009.

A imagem de satélite, por ser bastante atual, demonstra com fidelidade a os usos atuais do solo. As informações topográficas foram obtidas através do site da WEBGIS¹ e o tipo de dado é SRTM3², que tem uma resolução de 90m para seus dados altimétricos. O local de estudo situa-se na zona 29 S.

O uso do solo foi determinado em um raio de 3 a 5 km ao redor do local de estudo. Esta área foi dividida radialmente em quatro quadrantes, como mostra a Figura 23. Através de retraçagem das áreas, foram obtidas as áreas de usos de solo em cada quadrante. Neste caso, será adotado 5 km de raio. Caso a simulação nesta distância mostre-se insuficiente para apresentar os resultados da simulação, ou seja, as curvas de isoconcentração extrapolem os limites de simulação, será aumentada a distância de abrangência do mapa.

Os setores de direção do vento podem ser divididos em 1 a 12 quadrantes, para representar as diferenças no terreno nas diferentes direções que o vento pode soprar. Os valores de Albedo³, Razão de Bowen⁴ e Rugosidade da superfície⁵ da superfície devem ser

¹ Sistema de dados topográficos, site web : www.webgis.com

² Significa Shuttle Radar Topography Mission, e se refere a dados coletados por satélite. Compreende precisão de 90 metros.

³ Albedo é a fração do total de radiação solar que é refletida de volta ao espaço sem que seja absorvida.

⁴ Razão de Bowen é um indicador de umidade da superfície. Ele é a relação entre o fluxo de calor sensível para o fluxo de calor latente. A razão de Bowen está relacionada com a fração de evaporação.

⁵ Rugosidade da superfície é relacionada à altura dos obstáculos ao vento, e é a princípio, a altura aonde o vento horizontal médio é zero.

determinados para cada um destes setores e de acordo com a estação do ano. Os valores de referências utilizados pra cada uso de solo foram retirados do guia de utilização do AERMET (2010)⁶. Estes valores de referência se referem a uma caracterização de estações do ano estipulada no manual do AERMET.

Caracterização das estações do ano segundo o manual do usuário do AERMET:

- Inverno: Áreas cobertas de neve e temperaturas abaixo de zero, superfícies de água são consideradas congeladas;
- Primavera: Vegetação emergente ou parcialmente verde;
- Verão: Vegetação plena;
- Outono: Temperaturas baixas, árvores caducas perdendo sua cobertura foliar, solos expostos após colheitas.

Como o local de estudo não se encaixa perfeitamente nesta definição, os valores de referência não podem ser usados diretamente. A estação invernal apresentou diferentes características e, portanto, os valores de Albedo, Razão de Bowen e Rugosidade da superfície foram alterados para esta estação. A forma de cálculo adotada foi a média entre os valores de outono e primavera, apresentando assim um valor intermediário entre as duas estações.

Os valores de Albedo variam entre 0,1 (florestas densas) e 0,9 (neve fresca). Os parâmetros padrão de Albedo assim como os valores para a estação invernal modificada podem ser vistos na Tabela 6.

⁶ software auxiliar do AERMODView, com função de geração de dados meteorológicos locais através de dados meteorológicos de estações remotas. Este software não foi utilizado neste trabalho.

Tabela 6 – Albedo.

Uso de Solo	Primavera	Verão	Outono	Inverno modif.	Inverno
Água (Fresca e Salgada)	0.12	0.10	0.14	0.13	0.20
Florestas Caducas	0.12	0.12	0.12	0.12	0.50
Área de Cultivo	0.14	0.20	0.18	0.16	0.60
Campos	0.18	0.18	0.20	0.19	0.60
Urbano	0.14	0.16	0.18	0.16	0.35

Durante o dia, a razão de Bowen geralmente atinge um valor razoavelmente constante, que varia de 0,1 (acima da água) até 10,0 (desertos ao meio-dia). Os parâmetros padrão de razão de Bowen assim como os valores para a estação invernal modificada podem ser vistos na Tabela 7

Tabela 7 - Razão de Bowen.

Uso de Solo	Primavera	Verão	Outono	Inverno modif.	Inverno
Água (Fresca e Salgada)	0.10	0.10	0.10	0.10	1.50
Florestas Caducas	0.70	0.30	1.00	0.85	1.50
Área de Cultivo	0.30	0.50	0.70	0.50	1.50
Campos	0.40	0.80	1.00	0.70	1.50
Urbano	1.00	2.00	2.00	1.50	1.50

Os valores de Rugosidade da superfície variam de 0,001m (sobre água calma) até 1m ou mais (florestas e cidades). Os parâmetros padrão de rugosidade da superfície assim como os valores para a estação invernal modificada podem ser vistos na Tabela 8.

Tabela 8 - Rugosidade da superfície.

Uso de Solo	Primavera	Verão	Outono	Inverno modif.	Inverno
Água (Fresca e Salgada)	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Florestas Caducas	1.00	1.30	0.80	0.90	0.50
Área de Cultivo	0.03	0.20	0.05	0.04	0.01
Campos	0.05	0.10	0.01	0.03	0.00
Urbano	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

A separação por setores e determinação das superfícies de cada setor foi feita com ajuda do programa AutoCAD 2010[®] da Autodesk. Após inserção da imagem em escala foi traçado um círculo com raio de 5km e posteriormente dividido em 4 setores. Foram traçadas linhas de divisão entre os diferentes tipos de uso de solo baseando-se em análise visual da cobertura, observando uma imagem de satélite de alta definição.

3.10. Simulações

Todos os dados previamente calculados no modelo AERMODView. Devido a disponibilidade dos dados meteorológicos em médias de 4 minutos e a utilização de uma ferramenta para cálculo de médias de 15 minutos para estes dados optou-se por simular estes períodos. O processo de simulação foi dividido em 8 cenários diferentes, 1 para cada estação do ano, com dados meteorológicos com médias de 4 minutos, e 1 para cada estação do ano com dados meteorológicos com médias de 15 minutos. Importante dizer que o modelo AERMOD aceita dados horários como configuração. Por este motivo é necessário ressaltar que os resultados da simulação representam o caso em que as condições meteorológicas dos intervalos de 4 ou 15 minutos se estendesem durante uma hora. Portanto foi efetuada a transformação de cada intervalo de 4 ou 15 minutos em intervalos horários. Assim, os dados de uma hora com médias de 4 minutos resultaram em 15 horas fictícias e os dados de uma hora com médias de 15 minutos resultaram em 4 horas fictícias. Sendo assim, os 3 meses de dados calculados com as médias de 4 e 15 minutos resultaram em simulações de 45 e 12 meses fictícios, respectivamente. Cada cenário foi modelizado separadamente, processo que levou aproximadamente 4 dias.

4. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados as análises dos dados de entrada e da simulação.

4.1. Uso do solo

O resultado desta análise visual dos usos do solo da imagem de satélite pode ser observado na Figura 23. A legenda da imagem está identificada na Tabela 9.

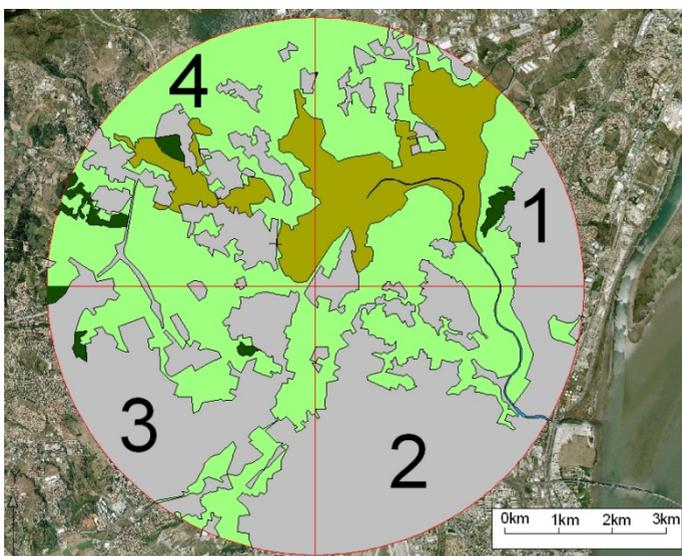


Figura 23 - Área separada por setores e uso do solo.

Tabela 9 – Legenda de usos do Solo.

Cor	Uso do solo
Verde	Campos
Cinza	Urbano
Verde Escuro	Florestas
Amarelo	Áreas de Cultivo
Azul	Água

Os resultados levantados através desta análise de usos do solo podem ser observados nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 - Áreas de usos de solo por setor (em m²).

Utilização	Setores			
	1	2	3	4
Água (Fresca e Salgada)	52978	81521		
Florestas Caducas	225676		239902	520028
Área de Cultivo	6049710			2778224
Campos	8688656	4779688	6559842	11960351
Urbana	4617768	14772912	12835200	4376186
Total	19634789	19634121	19634944	19634789

Tabela 11 – Áreas de usos de solo por setor (em %).

Utilização	Setores			
	1	2	3	4
Água (Fresca e Salgada)	0.3%	0.4%	0.0%	0.0%
Florestas Caducas	1.1%	0.0%	1.2%	2.6%
Área de Cultivo	30.8%	0.0%	0.0%	14.1%
Campos	44.3%	24.3%	33.4%	60.9%
Urbana	23.5%	75.2%	65.4%	22.3%
Total	100%	100%	100%	100%

Após a determinação das áreas, foi multiplicada cada fração tipo de uso de solo para cada setor com seus respectivos valores de Albedo, Razão de Bowen e Rugosidade da Superfície. Os resultados destes cálculos podem ser observados nas Tabelas 12 a 14.

Tabela 12 – Valor calculado de Albedo para utilização no modelo.

Setor	Albedo			
	Inverno	Primavera	Verão	Outono
1	0.17	0.16	0.18	0.19
2	0.17	0.15	0.16	0.18
3	0.17	0.15	0.17	0.19
4	0.18	0.16	0.18	0.19

Tabela 13 - Valor calculado de razão de Bowen para utilização no modelo.

Setor	Razão de Bowen			
	Inverno	Primavera	Verão	Outono
1	0.83	0.51	0.98	1.14
2	1.30	0.85	1.70	1.75
3	1.22	0.80	1.58	1.65
4	0.85	0.53	1.01	1.18

Tabela 14 - Valor calculado de rugosidade da superfície para utilização no modelo.

Setor	Rugosidade da Superfície			
	Inverno	Primavera	Verão	Outono
1	0.27	0.28	0.36	0.26
2	0.76	0.76	0.78	0.75
3	0.67	0.68	0.70	0.67
4	0.27	0.28	0.35	0.26

4.2. Meteorologia local

Como o intuito deste trabalho é de apresentar a diferença de dispersão nas variadas estações do ano, os valores meteorológicos característicos de cada estação serão apresentados nas Figuras 24 a 31.

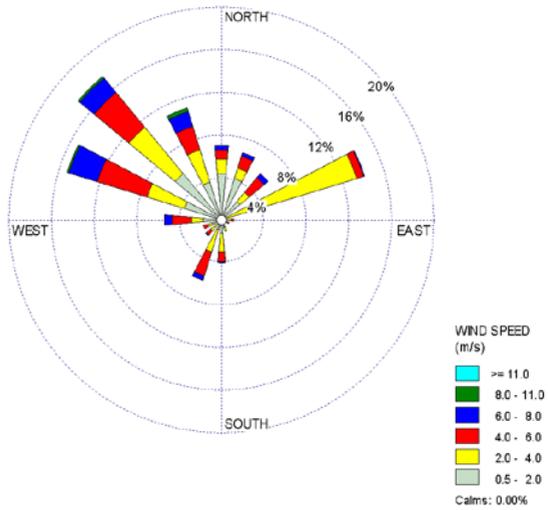


Figura 24 – Rosa dos ventos para a primavera, com média de 4 minutos.

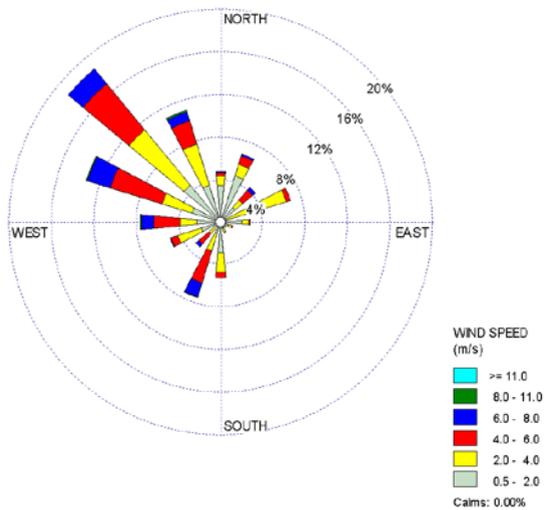


Figura 25 – Rosa dos ventos para a primavera, com média de 15 minutos.

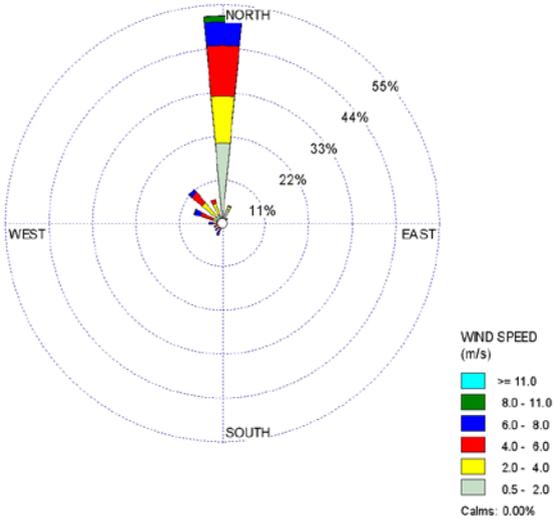


Figura 26 – Rosa dos ventos para o verão, com média de 4 minutos.

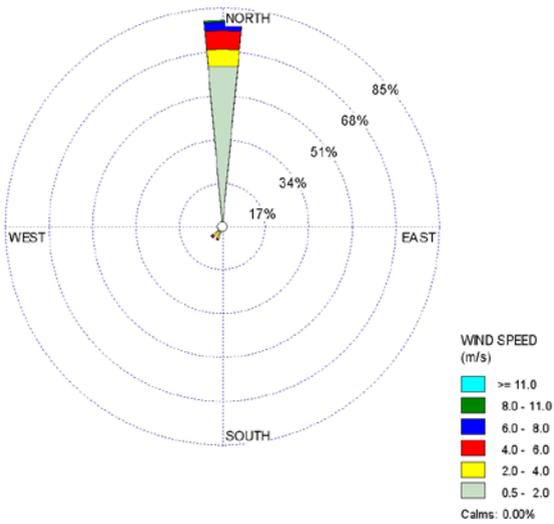


Figura 27 – Rosa dos ventos para o verão, com média de 15 minutos.

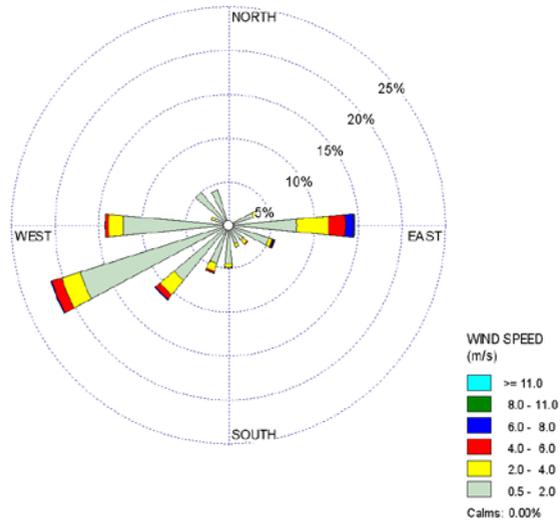


Figura 28 – Rosa dos ventos para o outono, com média de 4 minutos.

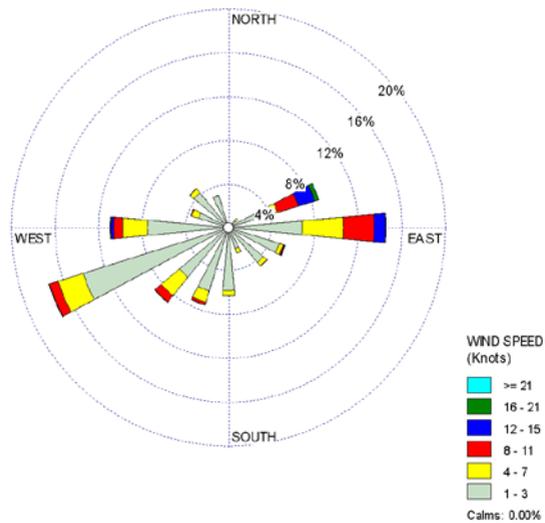


Figura 29 – Rosa dos ventos para o outono, com média de 15 minutos.

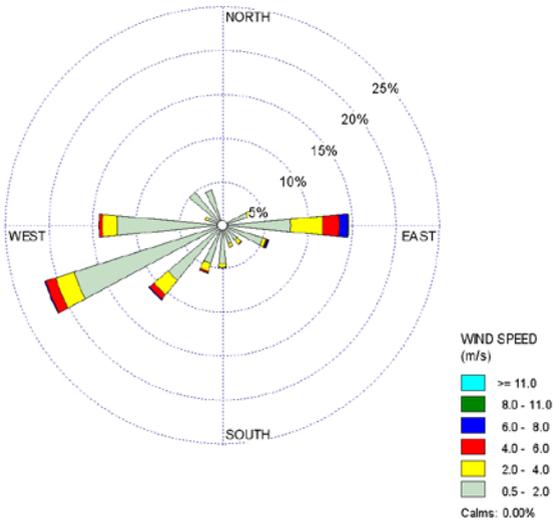


Figura 30 – Rosa dos ventos para o inverno, com média de 4 minutos.

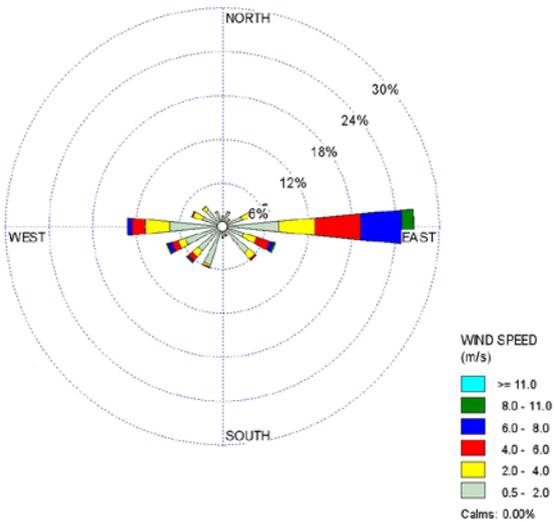


Figura 31 – Rosa dos ventos para o inverno, com média de 15 minutos.

4.3. Emissão das Fontes

Os resultados obtidos da análise das amostras coletadas na estação de tratamento de efluentes estão demonstrados nas Tabelas 15 e 16. A média desta análise é calculada para que eventos singulares sejam descartados, mostrando assim valores usuais de emissão de odor.

Tabela 15 – Amostragem do tanque de equalização.

Data de amostragem	U.O./m ³
27-fev-09	74
27-fev-09	163
27-fev-09	129
5-mar-09	87
5-mar-09	165
média	123.60

Tabela 16 – Amostragem do poço de resíduos.

Data de amostragem	U.O./m ³
4-mar-09	38
4-mar-09	23
5-mar-09	24
média	28.33

Com base nos valores obtidos nas Tabelas 15 e 16 foram calculados os valores de taxa de emissão, apresentados nas Tabelas 17 e 18. Para a câmara de fluxo foi utilizada a Equação 1.

Tabela 17 – Valores de emissão de odores do tanque de equalização.

Fonte	Área	Concentração	Taxa superficial	Taxa de emissão
	[m ²]	[u.o./m ³]	[u.o./m ² /s]	[u.o./s]
Tanque de Equalização	3850	123.6	0.11	423.5

Tabela 18 – Valores de odores do poço de resíduos.

Fonte	Diâmetro	Altura	Concentração	Taxa Volumétrica	Velocidade de emissão	Taxa de emissão
	[m]	[m]	[u.o./m ³]	[m ³ /s]	[m/s]	[u.o./s]
Poço	0.08	0	28.33	0.016	0.198	0.4487472

4.4. Simulações

Os resultados das simulações apresentaram dispersões que não se distanciaram muito da fonte, e por este motivo as imagens apresentadas demonstram uma aproximação da fonte e não a área completa de 100 km².

As concentrações máximas obtidas estão demonstradas nas Tabelas 20 a 23. As Figuras 32 a 55 apresentam as seguintes informações:

- Na parte central da imagem são apresentadas as isolinhas de concentração máxima;
- Na legenda a direita da imagem é apresentada a escala de cores condizentes com cada concentração. O valor mais alto da escala representa o valor máximo atingido em cada cenário;
- As escalas na parte inferior e esquerda da imagem demonstram as coordenadas UTM, em metros, do local.
- Todos os gráficos desta sessão apresentam o norte no topo, o leste à direita, o oeste à esquerda e o sul na parte inferior da imagem.

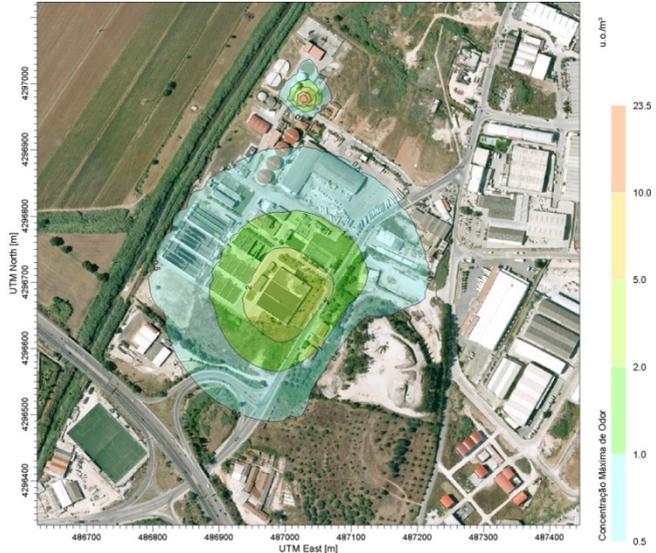


Figura 32 – Isolinhas de concentração máxima de odores para a primavera, com a média de 4 minutos.



Figura 33 – Isolinhas de concentração máxima de odores para a primavera, com a média de 15 minutos.

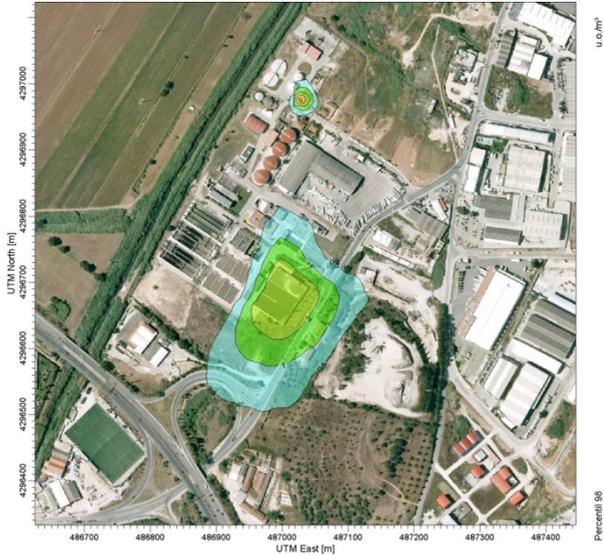


Figura 34 – Isolinhas de concentração p98 de odores para a primavera, com a média de 4 minutos.

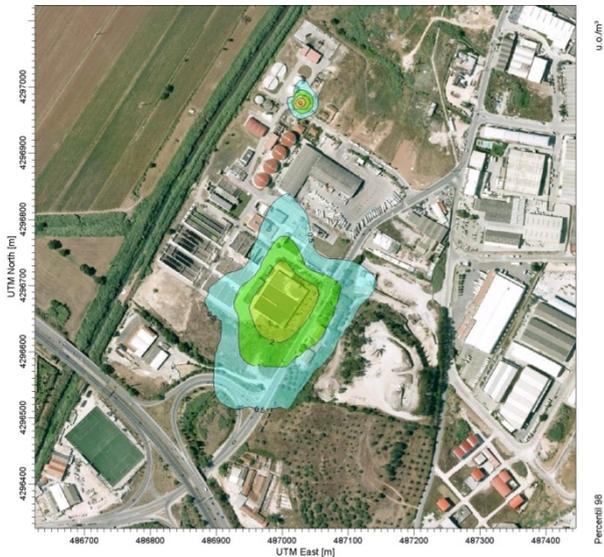


Figura 35 – Isolinhas de concentração p98 de odores para a primavera, com a média de 15 minutos.



Figura 36 – Isolinas de concentração P90 de odores para a primavera, com a média de 4 minutos.



Figura 37 – Isolinas de concentração P90 de odores para a primavera, com a média de 15 minutos.



Figura 38 – Isolinhas de concentração máxima de odores para o verão, com a média de 4 minutos.

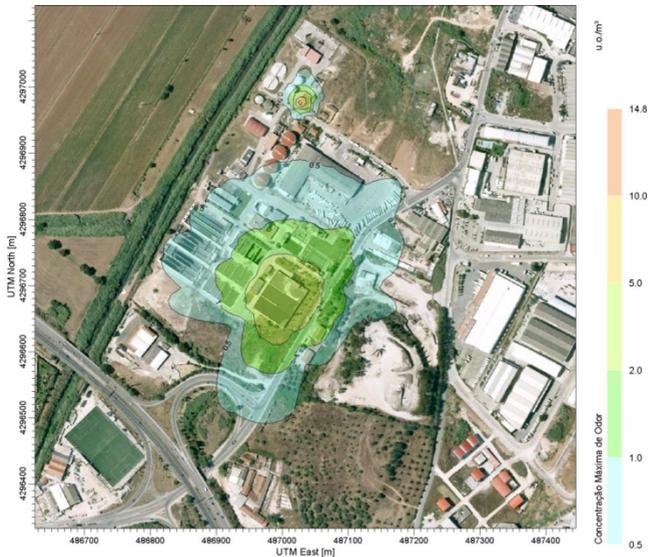


Figura 39 – Isolinhas de concentração máxima de odores para o verão, com a média de 15 minutos.



Figura 40 – Isolinhas de concentração p98 de odores para o verão, com a média de 4 minutos.

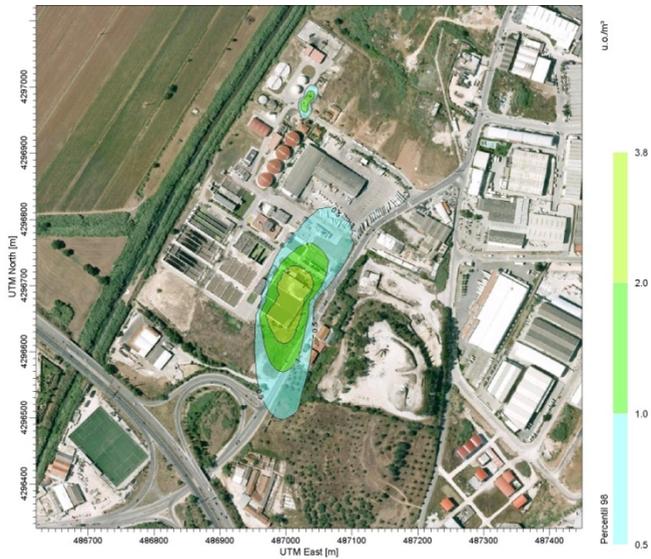


Figura 41 – Isolinhas de concentração p98 de odores para o verão, com a média de 15 minutos.

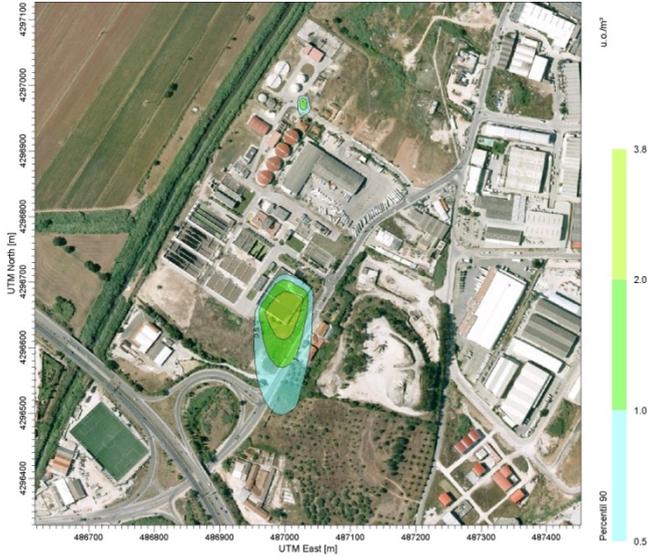


Figura 42 – Isolinhas de concentração P90 de odores para o verão, com a média de 4 minutos.

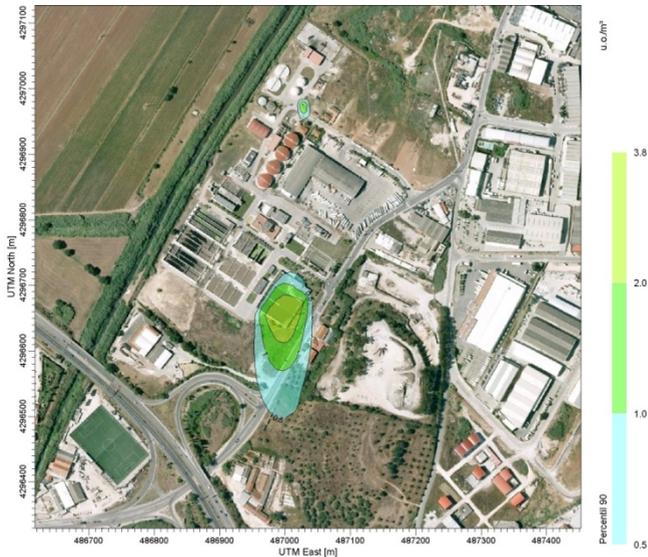


Figura 43 – Isolinhas de concentração P90 de odores para o verão, com a média de 15 minutos.



Figura 44 – Isolinhas de concentração máxima de odores para o outono, com a média de 4 minutos.



Figura 45 – Isolinhas de concentração máxima de odores para o outono, com a média de 15 minutos.

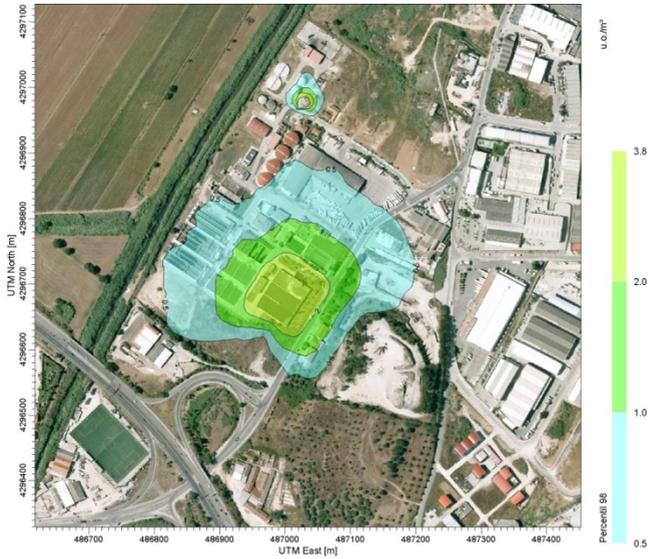


Figura 46 – Isolinhas de concentração p98 de odores para o outono, com a média de 4 minutos.

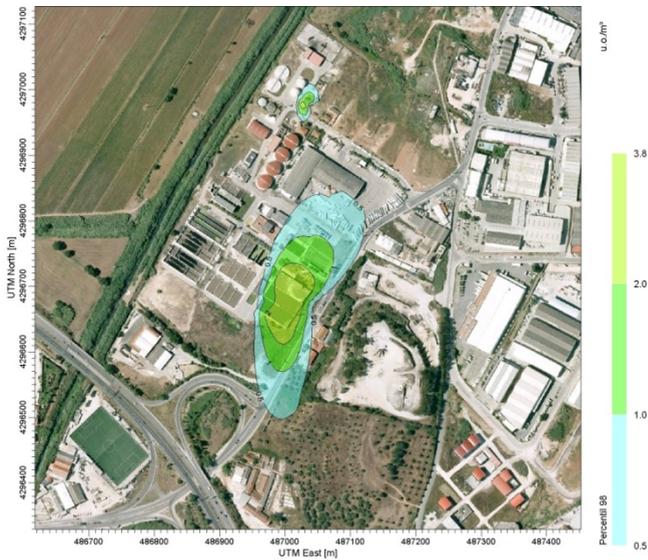


Figura 47 – Isolinhas de concentração p98 de odores para o outono, com a média de 15 minutos.

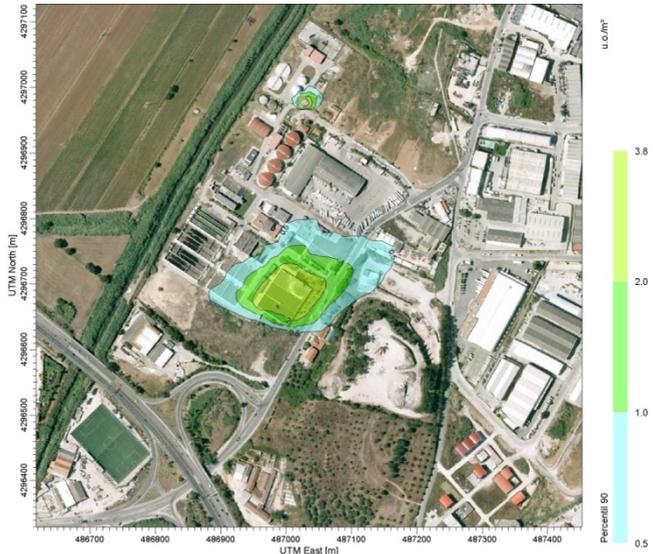


Figura 48 – Isolinhas de concentração P90 de odores para o outono, com a média de 4 minutos.

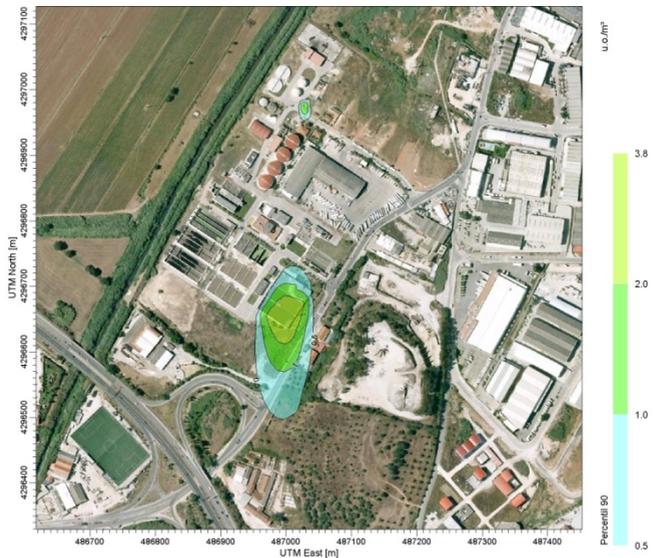


Figura 49 – Isolinhas de concentração P90 de odores para o outono, com a média de 15 minutos.

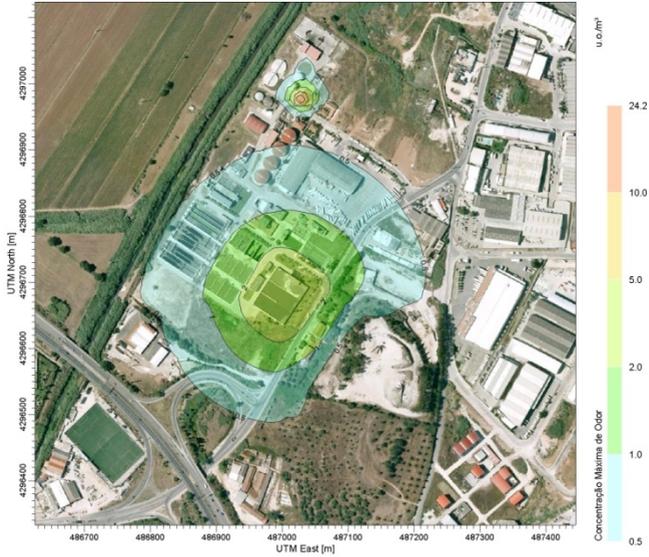


Figura 50 – Isolinhas de concentração máxima de odores para o inverno, com a média de 4 minutos.

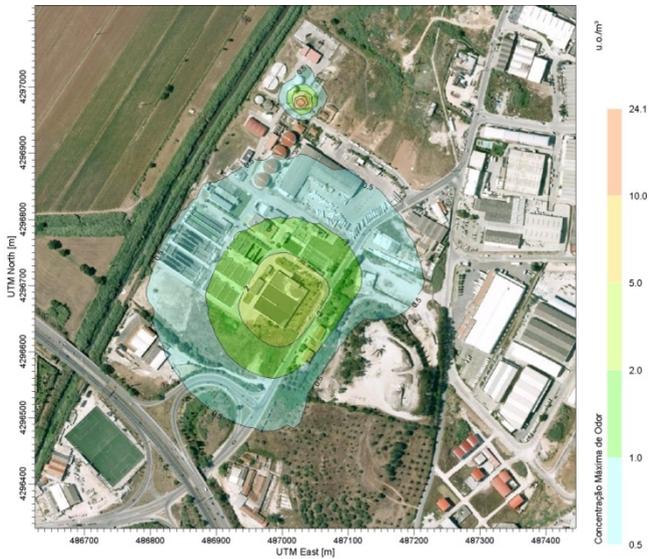


Figura 51 – Isolinhas de concentração máxima de odores para o inverno, com a média de 15 minutos.

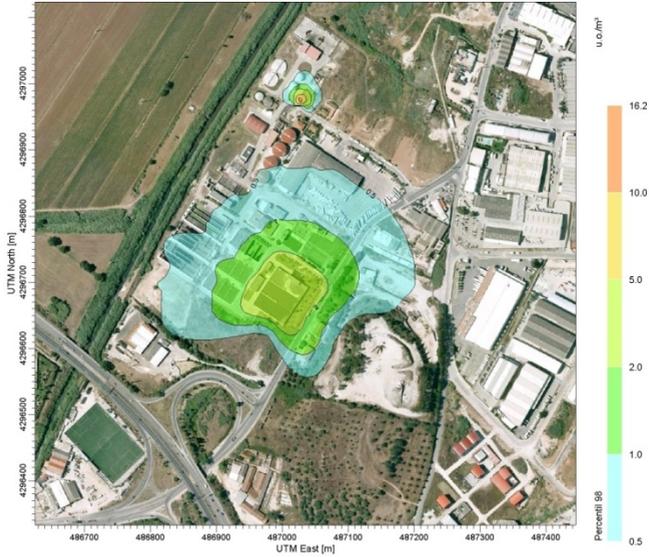


Figura 52 – Isolinas de concentração p98 de odores para o inverno, com a média de 4 minutos.

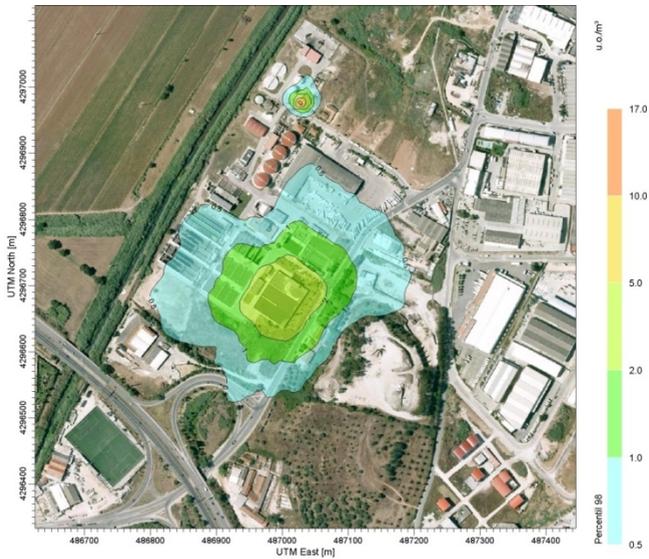


Figura 53 – Isolinas de concentração p98 de odores para o inverno, com a média de 15 minutos.

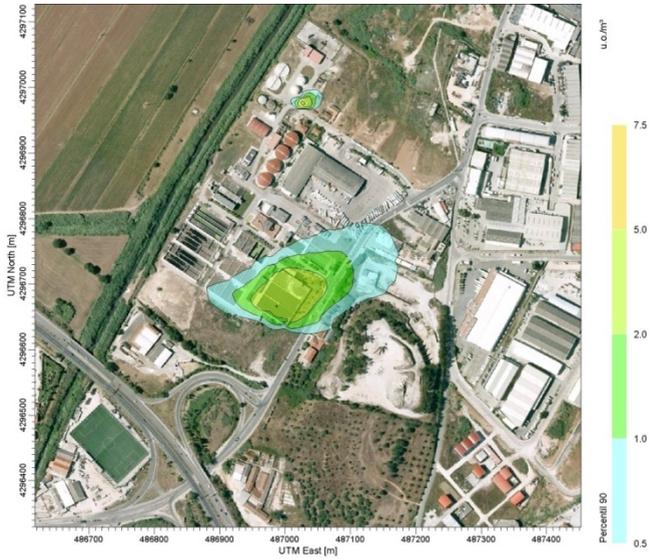


Figura 54 – Isolinas de concentração P90 de odores para o inverno, com a média de 4 minutos.

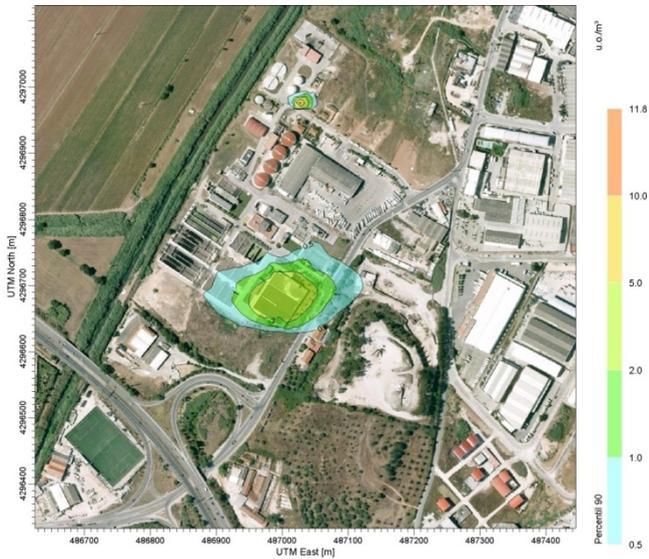


Figura 55 – Isolinas de concentração P90 de odores para o inverno, com a média de 15 minutos.

Após análise dos resultados dos diversos cenários foi possível a compilação dos valores máximos apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Resumo dos resultados das simulações.

	Médias meteor.	Máximo (U.O./m ³)	P98 máximo (U.O./m ³)	P90 máximo (U.O./m ³)
Prim	4 min	23,49	16,07	11,58
	15 min	21,78	15,96	9,03
Ver	4 min	23,70	10,77	3,83
	15 min	14,76	3,98	3,79
Out	4 min	24,62	16,49	10,07
	15 min	23,97	3,94	3,84
Inv	4 min	24,16	16,22	7,47
	15 min	24,12	16,95	11,80

Em relação à Tabela 19 pode-se observar que os valores máximos para todos os cenários, sendo que em concentrações superiores acima de 10 U.O./m³, de acordo com McGinley e McGinley (2006), já espera-se reclamações. É relevante ressaltar que estas concentrações máximas foram observadas dentro do limite de propriedade e imediatamente acima das fontes emissoras.

As concentrações máximas foram obtidas próximas as fontes emissoras e as concentrações fora do limite de propriedade foram mais reduzidas. Em outras palavras, incomoda quem está na ETE, mas não a vizinhança. Em todos os casos os valores de concentração apresentaram valores inferiores para os dados meteorológicos com médias de 15 minutos, com exceção da estação de inverno, que apresentou ao menos valores próximos. Quanto maior o tempo de média utilizado os valores de picos de concentração tornam-se menos representativos do valor final. Portanto, resultados com médias de 4 minutos apresentarão valores superiores, pois estão mais próximos da instantaneidade. As maiores diferenças de valores de concentrações em relação às médias de 4 e 15 minutos foram os máximos absolutos da estação de verão, 23,70 e 14,76 U.O./m³ respectivamente.

As diferenças entre os valores de percentil 98 e 90 demonstram a freqüência que as respectivas concentrações máximas são obtidas.

Quando os valores de percentil 98 e 90 são próximos, a frequência das concentrações próximas ao percentil 98 é menor. Quando são diferentes as frequências dos valores próximos ao percentil 98 são mais frequentes. A maior frequência de concentração de odor pode ser observada na estação de verão e outono com os dados meteorológicos em médias de 15 minutos, pois os valores de percentis estão mais próximos, confirmando certa regularidade nas concentrações observadas. Isso significa que em grande parte do tempo esperam-se concentrações em torno de 3,5 U.O./m³. A concentração de odor das outras estações do ano para estes valores de percentil 90 e 98 foi superior, porém menos frequente. Já os valores de percentil 98 e 90 da estação de inverno, com dados meteorológicos em médias de 4 minutos, demonstraram que valores próximos a 16 U.O./m³ são raros, pois o percentil 90 apresentou concentração de 7,47 U.O./m³.

Nas Tabelas 20 a 23 podem ser observados os resultados de concentração de odor para os receptores críticos, como escolas e hospitais. Pode-se observar que em nenhum destes receptores a concentração de odor atingiu nível perceptível.

Avaliando-se as Figuras 32 e 33 pode se observar que existe uma dispersão reduzida no sentido NO – SE. Observando-se as rosas dos ventos nas Figuras 24 e 25 pode-se concluir que os valores de concentração nesta direção deveriam ser maiores pois a frequência de ventos nesta direção é maior. É preciso lembrar que não é somente a direção do vento que influencia uma dispersão, os valores de solo, relevo e velocidade do vento também possuem grande influência.

Tabela 20 – Resultados de concentração de odor de acordo com as médias dos dados meteorológicos para a primavera.

	Tempo de média	Receptor (U.O./m ³)	Máximo (U.O./m ³)	P98 máximo (U.O./m ³)	P90 máximo (U.O./m ³)
Primavera	4 min	1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	4 min	2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	4 min	3	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	4 min	4	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	4 min	5	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	15 min	1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	15 min	2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	15 min	3	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	15 min	4	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	15 min	5	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tabela 21 – Resultados de concentração de odor de acordo com as médias dos dados meteorológicos para o verão.

	Tempo de média	Receptor (U.O./m ³)	Máximo (U.O./m ³)	P98 máximo (U.O./m ³)	P90 máximo (U.O./m ³)
Verão	4 min	1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	4 min	2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	4 min	3	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	4 min	4	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	4 min	5	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	15 min	1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	15 min	2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	15 min	3	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	15 min	4	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	15 min	5	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tabela 22 – Resultados de concentração de odor de acordo com as médias dos dados meteorológicos para o outono.

	Tempo de média	Receptor (U.O./m ³)	Máximo (U.O./m ³)	P98 máximo (U.O./m ³)	P90 máximo (U.O./m ³)
Outono	4 min	1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	4 min	2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	4 min	3	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	4 min	4	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	4 min	5	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	15 min	1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	15 min	2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	15 min	3	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	15 min	4	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	15 min	5	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tabela 23 – Resultados de concentração de odor de acordo com as médias dos dados meteorológicos para o inverno.

	Tempo de média	Receptor (U.O./m ³)	Máximo (U.O./m ³)	P98 máximo (U.O./m ³)	P90 máximo (U.O./m ³)
Inverno	4 min	1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	4 min	2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	4 min	3	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	4 min	4	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	4 min	5	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	15 min	1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	15 min	2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	15 min	3	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	15 min	4	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	15 min	5	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Nas Figuras 34 a 37 pode-se verificar que as concentrações máximas estão situadas ligeiramente ao sul das fontes, embora as concentrações máximas absolutas apresentadas anteriormente sugiram uma dispersão uniforme ao entorno das fontes. Em outras palavras, as concentrações máximas absolutas são obtidas em todas as direções a partir da fonte, porém a maior frequência de odores está situada ao sul das fontes.

As isolinhas de concentrações máximas apresentadas nas Figuras 38 e 39, obtidas para a estação de verão, para ambas as médias, são bem diferentes. As isolinhas das médias de 4 minutos apresentam caráter arredondado enquanto as isolinhas das médias de 15 minutos apresentam plumas de dispersão independentes. Os valores de máximos também são bastante diferentes, 23,70 e 14,76 U.O./m³ respectivamente. Esta diferença de valores máximos de concentração demonstra que quanto maior a média do tempo, menores são os valores de pico, pois ignoram os valores de concentração, conforme apresentado na Figura 1. Curiosamente, as rosas dos ventos para o verão, visualizadas nas Figuras 26 e 27 demonstram uma grande frequência de ventos provenientes do norte. Com isso, as isolinhas de concentração que representam maior frequência do tempo, percentil 98 e 90, demonstram uma pluma de dispersão dominante para o sentido sul.

Na Figura 41 diferentemente das figuras observadas anteriormente existe uma pluma de concentração sentido SSO – NNE.

Como as concentrações significativas de odores, acima de 1 U.O./m³, ficaram próximas as fontes, as concentrações de odores observadas nos receptores específicos, descritos na Tabela 4, permaneceram todos abaixo de 0,1 U.O./m³, como apresentado nas Tabelas 20 a 23.

5. CONCLUSÃO

Avaliando a dispersão das fontes emissoras pode-se observar que as maiores concentrações de odor ocorreram na fonte pontual do poço de resíduos, que possui uma concentração de odor maior na emissão. O tanque de equalização por sua vez apresentou uma emissão maior do que o poço de concentrado por causa da sua grande superfície emissora. Se o poço apresentasse uma emissão impactante na vizinhança esse problema poderia ser reduzido com a instalação de uma chaminé que auxilia a dispersão. Já para o tanque de equalização, este tipo de medida não é possível.

As extensas simulações apresentaram valores relevantes quanto à dispersão no entorno da ETE, porém uma grande diferenciação da dispersão quanto a estação do ano não pode ser observada. Isto se deve ao fato de que as concentrações de odor observadas ficaram muito próximas das fontes. Se as plumas de concentrações, ou isolinhas, fossem maiores, com dispersão das concentrações observadas mais distante da fonte, os resultados poderiam ser mais visíveis. Contudo, a estação do ano que apresentou as maiores concentrações de odor para o entorno da ETE foi a de inverno.

Por causa da variação das condições meteorológicas e do próprio tratamento dos efluentes ao longo do ano, espera-se que a emissão dos odores também varie.

A integração de dados de emissões iguais das fontes, para cada estação do ano, também prejudicou os resultados. Seria prudente analisar a emissão durante vários períodos do ano a fim de conhecer sua variação, ou ainda utilizar os dados do nariz eletrônico que não foi possível neste trabalho. Foi possível observar uma concentração ligeiramente superior na estação de inverno, provavelmente devido a uma alta porcentagem de ventos fracos associados a outros parâmetros de solo referentes a esta estação.

A influência do relevo na dispersão não pode ser observada, pois as plumas de concentrações simuladas não se distanciaram muito da fonte emissora. Numa fase de testes do modelo utilizou-se concentrações de emissão 10 vezes maior para observar este efeito, porém como os dados eram irrealistas não foram publicados neste estudo.

Como recomendação, propõe-se uma comparação com outros modelos, como por exemplo o modelo lagrangeano AUSTAL desenvolvido pela Agência Federal Alemã de Meio Ambiente.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AERMET. *User's guide for the aermod meteorological preprocessor (AERMET)*. Desenvolvido por U.S. Environmental Protection Agency. Disponível em www.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aermetugb.pdf. Acesso em: 10/07/2010.

AERMOD. *Description of model formulation*. Desenvolvido por U.S. Environmental Protection Agency. Disponível em http://www.epa.gov/ttn/scram/7thconf/aermod/aermod_mfd.pdf. Acesso em: 10/07/2010.

ASHRAE. *ASHRAE hand book: fundamentals*. Atlanta, GA: ASHRAE. 2005.

CAPUTO, M., GIMENEZ, M., SCHLAMP, M. *Intercomparison of atmospheric dispersion models*. Atmospheric Environment. San Carlos de Bariloche, Argentina. v. 37, 2003.

CEN. CEN13725. *Determination of odor concentration by dynamic olfactometry*. European Committee for Standardization. Bruxelas, 2003.

CIMORELLI, A. J., PERRY, S. G., VENKATRAN, A., WEIL, J. C., PAINE, R. J., WILSON, R. B., LEE, R. F, PETERS, W. D., BRODE, R. W. *AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications Part I: General Model Formulation and Boundary Layer Characterization*. Journal of Applied Meteorology. v. 44, 2004.

DE MELO LISBOA, H. *Contribution à la mise en oeuvre et à la validation de modèles de dispersion atmosphérique applicables aux composés odorants*. Tese de doutorado. Université de Pau et des Pays de l'Adour – Ecole des Mines d'Alès, 196 p. 1996.

HOLMES, N., MORAWSKA, L. *A review of dispersion modelling and its application to the dispersion of particles: An overview*

of different dispersion models available. Atmospheric Environment. v. 40, 2006.

MOTA, S. *Introdução à engenharia ambiental*. 2ª. Ed. Rio de Janeiro: ABES Associação Brasileira de Engenharia Ambiental e Sanitária, 2000.

KAWANO, M. *Desenvolvimento, validação e aplicação de um modelo matemático para dispersão de poluentes atmosféricos*. Dissertação de mestrado Programa de pós graduação em Engenharia Ambiental da UFSC. Florianópolis, orientador: prof Henrique de Melo Lisboa. 2003.

LEDUC, R. *Guide de la modélisation de la dispersion atmosphérique*, Québec, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, envirodoq no ENV/2005/0072, rapport no QA/49, 38 p. 2005.

MCGINLEY, C. M. e MCGINLEY, M. A. 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, 2006.

MORAES, M. R. *Implementação de um sistema de modelos para a qualidade do ar*. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFSC. 109p. 2001.

NEW ZEALAND MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT. *A typical plume from an elevated point source*. June, 2004. Disponível em: <http://www.mfe.govt.nz/publications/air/atmospheric-dispersion-modelling-jun04/html/figure2-2.html>. Acesso em: 10/07/2010.

STUETZ, R. e FRECHEN, F.B. *Odours in wastewater treatment*. IWA Publishing. 456 p.. Londres. 2001.

WebGIS. *Geographic Information Systems Resource - GIS.* Desenvolvida por Lakes Environmental Softwares. Disponível em: www.webgis.com. Acesso em: 13/05/2010.

WILKS, D.S. *Statistical Methods in Atmospheric Sciences.* Second Edition, Department of Earth and Atmospheric Sciences, Cornell University. 627 p., Academic Press. 2006.

WINNEKE, G. e KASTKA, J. *Odour pollution and odour annoyance reactions in industrial areas of the Rhine-Ruhr region.* Anais do sexto simpósio de olfato e paladar, Londres. 1977.

ZANNETTI, P. *Air Pollution Modeling: Theories, Computational Methods, and available software.* AeroVironment Inc. Monrovia, California. Computational Mechanics Publications, Southampton Boston. 1990.