X-1155 - Estratégias para detecção, espacialização e controle de odores em estações de tratamento de esgoto

Cristiano Lisboa de Andrade[(1)]
Geógrafo pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG). Especialista em Avaliação de Impactos Ambientais pela PUC-MG e em Geoprocessamento e Meio Ambiente pela UNI-BH. Analista de meio ambiente líder do setor de monitoramentos e modelagens ambientais na Brandt Meio Ambiente.
Lucas Antônio Brasil G. Lacerda[(2)]
Geógrafo pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG). Especialista em Geoprocessamento e Análise Espacial pela PUC-MG e Mestre em Modelagem de Sistemas Ambientais pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Analista de meio ambiente líder do setor de geointeligência na Brandt Meio Ambiente.
Thiago Bressani Ribeiro[(3)]
Engenheiro Ambiental pela Universidade Fumec. Mestre e Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutor em Engenharia de Bioprocessos pela Ghent University (UGent, Bélgica). Sócio-Diretor da Chernicharo & Bressani Consultoria e Capacitação em Saneamento. Diretor do Centro de Referência em ETEs Sustentáveis (CR ETES).
Carlos Augusto de Lemos Chernicharo[(4)]
Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutorado em Engenharia Ambiental pela Universidade de Newcastle (Reino Unido), e pós-doutorado pela Universidade de New South Wales (Austrália). Professor titular aposentado da UFMG (2020). Foi Coordenador do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto (INCT ETEs Sustentáveis). Atualmente é Sócio-Diretor da Chernicharo & Bressani Consultoria e Capacitação em Saneamento e do Centro de Referência em ETEs Sustentáveis (CR ETES).
Emanuel Manfred Freire Brandt[(5)]
Químico Industrial pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Mestre e Doutor em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Diretor técnico na Brandt Meio Ambiente. Professor do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

Endereço[(5)]**:** Alameda do Ingá, 89 - Vale do Sereno, Nova Lima/MG - CEP: 34006-042 - Brasil - Tel: (31) 3071-7012 - e-mail: ebrandt@brandt.com.br

RESUMO

O monitoramento e o controle de emissões odorantes em estações de tratamento de esgoto (ETEs) são fundamentais para a garantia do bem-estar dos trabalhadores e da população vizinha. Nessa linha, o presente estudo buscou contribuir com a apresentação e a avaliação de diferentes técnicas para a detecção e a espacialização dos odores e do H_2S, tomando por base um trabalho de investigação realizado em uma ETE em escala plena ($Q_{média}$=174 l/s) composta por reatores UASB e pós-tratamento por filtros biológicos percoladores (FBPs), em que tais técnicas foram empregadas para a definição de medidas de controle de odores. Foram definidos pontos de monitoramento em fontes emissoras e na comunidade de entorno para a medição das intensidades dos odores (por olfatometria dinâmica de campo) e das concentrações de H_2S (por medidores portáteis). A partir do monitoramento, foi realizada a modelagem da dispersão atmosférica dos odores com o uso do *software* AERMOD View 9.9 considerando o uso da técnica de calibração conhecida como modelagem reversa. Embora o monitoramento dos odores e do H_2S tenha indicado níveis associados a incômodos em um ponto específico da área de estudo, ele não foi capaz de mostrar toda a abrangência da área suscetível aos incômodos. Nesse sentido, a modelagem se mostrou como uma ferramenta mais apropriada para a espacialização das áreas suscetíveis aos incômodos causados pelos odores emitidos pela ETE, permitindo inclusive a avaliação da eficácia dos cenários com proposições de medidas de controle. No entanto, o monitoramento realizado em campo foi fundamental para a obtenção das taxas de emissão que alimentaram e validaram o modelo. A instalação de uma câmara de dessorção de gases dissolvidos nos efluentes dos reatores UASB, bem como a cobertura e exaustão parcial das canaletas de coleta dos efluentes dos reatores UASB se mostraram como uma medida efetiva diante do cenário avaliado pela modelagem matemática.

PALAVRAS-CHAVE: odor, olfatometria, sulfeto de hidrogênio, modelagem, reator UASB.

INTRODUÇÃO

O monitoramento e o controle de emissões odorantes em estações de tratamento de esgoto (ETEs) são fundamentais para a garantia do bem-estar dos trabalhadores e da população vizinha. Considerando que alguns gases odorantes são também corrosivos, essas medidas apresentam ainda o potencial de redução de gastos operacionais com manutenção de estruturas e equipamentos [1, 2]. Diferentes compostos odorantes são formados a partir do esgoto em condições anaeróbias, sendo o sulfeto de hidrogênio (H_2S) o principal, embora outros compostos de enxofre (ex.: mercaptanas), ácidos orgânicos voláteis, aldeídos, álcoois, fenóis, amônia e aminas também possam contribuir para as emissões odorantes [3].

Existem diversos procedimentos para amostragem e análise dos odores ou gases causadores dos odores [4, 5]. Em linhas gerais, as técnicas de medição de odores são divididas em: (i) análises sensoriais, ou olfatométricas (medida diretas dos odores), as quais empregam o olfato humano e são utilizadas para medir os efeitos que os odores produzem quando são percebidos; e (ii) análises químicas, usadas para determinar a composição química dos odores, por meio da quantificação dos principais compostos odorantes presentes em uma amostra. Considerando que os odores potencialmente emitidos pelas ETEs são relacionados a um sem-número de compostos químicos, as técnicas sensoriais ou olfatométricas são consideradas mais apropriadas, já que as determinações químicas dos compostos individuais (por cromatografia gasosa ou medidores portáteis, por exemplo) são insuficientes para se identificar as propriedades odorantes sinérgicas dos compostos, embora possam ser usadas para complementar a interpretação das medições olfatométricas.

A norma da comunidade europeia EN 13.725:2003 [6] é utilizada em todo o mundo como o método de referência para determinar as concentrações de odores no ambiente. A EN 13725:2003 estabelece as diretrizes para o uso de equipamentos e metodologias de amostragem e análise para garantir procedimentos consistentes entre diferentes medições e laboratórios, fornecendo resultados comparáveis a uma referência de odor, o composto n-butanol. Atualmente a EN 13725:2003 passa por revisão, sendo o grupo de trabalho responsável por conduzir o processo de atualização intitulado *CEN Technical Committee TC264 Air Quality*. Para a determinação das concentrações de odores no ambiente, a norma EN 13.725:2003 recomenda o método da olfatometria dinâmica, cuja concentração de odores é dada na unidade UO_E/m^3 (unidade de odor europeia por metro cúbico de ar). Na norma europeia, uma UO_E está associada a uma concentração específica de um composto odorante de referência certificado (n-butanol). A massa de odor de referência europeia (*European Reference Odour Mass - EROM*) definida para o n-butanol é equivalente a 123 µg, o que significa que 1 EROM evaporado em 1 m^3 de gás leva a uma concentração de 0,040 µmol/mol (40 ppbv - partes volumétricas por bilhão). Assim, a EN 13.725:2003 considera que 1 UO_E/m^3 corresponde a uma concentração equivalente de 40 ppbv ou 123 µg de n-butanol (1 EROM) evaporado em 1 m^3 de ar inodoro em condições padrão (20 °C e 1 atm) [6].

Nos EUA, a olfatometria segue a metodologia descrita na norma ASTM E679-04 [7], cuja concentração de odores é dada pela taxa de diluição (*dilutions-to-threshold* ou D/T) em avaliações de campo ou pela unidade UO/m^3 em avaliações de laboratório. A D/T consiste na razão de diluição do ar odorante necessária para que o odor atinja seu limite de detecção e se torne imperceptível ao receptor. Quanto maior a diluição necessária, maior a intensidade do odor. Conceitualmente, 1 UO_E/m^3 pode ser considerada equivalente a 1 D/T, pois essas unidades de concentração de odores são todas determinadas usando padrões baseados no conceito de limiar de detecção olfativa [6, 7]. Assim como o padrão americano, o padrão europeu de olfatometria é baseado no princípio da diluição até o limite olfativo.

Embora os procedimentos para a medição de odores estejam bem sistematizados pelas citadas normas internacionais, a avaliação e a mitigação dos impactos das emissões odorantes são bem mais complexas, seguindo em geral uma ou mais das seguintes abordagens [8]: (i) avaliação direta ou modelagem da concentração dos odores no ambiente ou das concentrações de compostos químicos individuais e comparação com valores máximos permitidos; (ii) estabelecimento de distâncias mínimas entre as fontes emissoras e os receptores dos odores; (iii) fixação de padrões máximos para as emissões de odores ou de compostos odorantes; (iv) avaliação do número de reclamações da população no entorno da fonte emissora (ex.: por meio de estudos de percepção de odores ou canal aberto à população) e comparação um número máximo permitido de reclamações; (v) exigência do uso de boas práticas e/ou de tecnologias para controle das emissões odorantes.

Até o momento o Brasil não dispõe de instrumentos regulatórios específicos que fixem critérios para a avaliação dos impactos dos odores ou fixem limites legais/valores-alvo para compostos causadores de odores, ainda que existam tentativas de regulamentação da questão dos odores em alguns estados brasileiros (PR, SP e PA) [8].

Internacionalmente, várias abordagens são utilizadas na regulamentação da questão. Em países da Europa, na Austrália, na Nova Zelândia, em Israel e na Colômbia, os limites legais são baseados em séries temporais de concentrações teóricas de odores no ambiente, calculadas por meio de modelos matemáticos de dispersão atmosférica [8]. Por outro lado, países como os Estados Unidos da América (EUA), o Panamá e a Coréia do Sul fixam limites legais baseados exclusivamente nas medições diretas das concentrações dos odores no ambiente, por meio da técnica conhecida como olfatometria dinâmica [8].

OBJETIVOS

O presente estudo teve como objetivo geral o uso de diferentes técnicas para a identificação das fontes odorantes e a espacialização dos odores e do H_2S na região de entorno de uma ETE em escala plena ($Q_{média}$=174 l/s), assim como o uso de tais técnicas para a definição de medidas de controle que melhor se ajustavam ao projeto e ao contexto de inserção da ETE.

Como objetivos específicos, foram considerados:

- Medir as concentrações de odores e de H_2S nas fontes e nos receptores dos odores na ETE e em seu entorno por meio da técnica de olfatometria de campo e de medidores portáteis;
- Modelar a dispersão atmosférica dos odores emitidos na ETE para os cenários atual e pós implementação de medidas de controle;
- Definir as medidas de controle de odores mais eficazes para a ETE em questão.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O *layout* geral da ETE estudada é apresentado na Figura 1, compreendendo as seguintes unidades principais para o tratamento do esgoto: tratamento preliminar, reatores UASB (*upflow anaerobic sludge blanket*) e pós tratamento em filtros biológicos percoladores (FBPs).

O tratamento preliminar possui canais abertos e é composto por duas grades grossas de limpeza manual, uma peneira mecanizada, um medidor de vazão do tipo *Parshall* e um desarenador aerado. Ao sair do tratamento preliminar, o esgoto vai para uma caixa distribuidora de vazão aberta (CDV I) e segue para tratamento biológico em três reatores UASB que operam em paralelo. A entrada do esgoto nos reatores UASB se dá por meio de caixas distribuidoras de vazão abertas, enquanto a coleta do efluente tratado é feita através de canaletas igualmente abertas, instaladas na parte superior dos compartimentos de decantação dos reatores. O biogás gerado nos reatores UASB é enviado para destruição térmica em queimadores (*flare*) do tipo aberto. Os efluentes dos três reatores UASB são reunidos na CDV II, unidade também aberta, de são distribuídos para pós-tratamento em três FBPs em paralelo. Em seguida, os efluentes dos FBPs são novamente reunidos (CDV III) e encaminhados para três decantadores secundários em paralelo. Após os decantadores, a CDV IV reúne o efluente final da ETE para posterior lançamento no corpo d'água receptor. Para o desaguamento do lodo excedente, a ETE conta com um galpão de desidratação com centrífuga. O lodo desidratado é armazenado temporariamente em caçambas abertas dispostas no pátio em frente ao galpão. Para segurança operacional, a ETE conta ainda com três baterias de leitos de secagem, os quais são usados para desidratação do lodo quando da paralização da operação da centrífuga, bem como para desaguamento de outros tipos de sólidos (ex.: escuma).

Figura 1: Identificação das unidades da ETE.

Monitoramento dos odores e do H_2S

Em medições diretas de odores, a sensibilidade humana é o centro da análise, realizada por um painel de analistas chamado de júri olfatométrico. Em uma análise de rotina, o júri olfatométrico é exposto a uma série de diluições de uma amostra odorante, fornecendo ao final um valor que reflita estatisticamente o fator de diluição em que metade da população detectaria o odor, e outra metade não. Nesse sentido, o júri olfatométrico deve refletir a percepção média de odores de uma população, considerando uma distribuição normal da sensibilidade de indivíduos nessa população.

Na prática, os membros do painel de analistas geralmente são selecionados com base em sua sensibilidade ao n-butanol, composto odorante utilizado como padrão de referência [6,7]. Para a seleção dos membros do painel, são considerados apenas os indivíduos cuja sensibilidade média ao n-butanol esteja na faixa de 20 a 80 ppbv (partes volumétricas por bilhão). Esse intervalo corresponde ao limite médio de percepção olfativa humana para o n-butanol (40 ppbv ou 123 $\mu g/m^3$), e um desvio padrão definido [4]. Assumindo que o júri olfatométrico reflete a percepção média de uma população, o valor calculado a partir da análise olfatométrica de qualquer amostra de odor reflete, por definição, uma estimativa do limiar de percepção olfativa da população para aquele odor (*perception threshold*), concentração de odor em que 50% da população é capaz de perceber, e 50% não.

Como neste estudo as medições olfatométricas foram realizadas em campo, e adicionalmente em períodos em que havia restrições decorrentes da pandemia de COVID 19, foi selecionado apenas um analista para a composição do júri olfatométrico. Para a avaliação da sensibilidade e seleção do analista, foi utilizado o teste padrão da empresa St. Croix Sensory (Minnesota, EUA) acreditada pela ISO/IEC 17025:2005, cujos procedimentos são baseados nas citadas normas EN 13.725:2003 (CEN, 2003) [6] e ASTM E679-04 [7]. O kit do teste de sensibilidade é composto por canetas dispensadoras de n-butanol, as quais são dispostas em uma escala de concentração. Durante o teste, o analista em avaliação deve aspirar o conteúdo das canetas apresentadas em uma ordem desconhecida (os seus olhos são vendados) e responder a respeito da sua percepção olfativa a cada apresentação. Para a seleção dos membros do júri olfatométrico, são considerados apenas indivíduos cuja pontuação média final esteja na faixa indicada pelo fabricante.

Para as medições em campo, foram escolhidos 23 pontos de amostragem em fontes emissoras e na comunidade de entorno (Figura 2). Foram definidas duas campanhas compreendendo 5 dias de monitoramento cada (segunda-feira a sexta-feira), sendo uma realizada em junho de 2021 e outra em agosto de 2021. Em cada campanha foram realizados 9 ciclos de medições olfatométricas em todos os 23 pontos amostrais, abrangendo de forma aleatória os períodos diurno, vespertino ou noturno. Para o monitoramento olfatométrico, foi utilizado o equipamento Nasal Ranger® (St. Croix Sensory, EUA) seguindo os procedimentos do fabricante e das normas EN 13.725:2003 [6] e ASTM E679-04 [7], apresentado os resultados em UO_E/m^3 (unidades de odor europeia). Complementarmente, foram realizadas medições diretas de H_2S por meio de dois equipamentos distintos: i) Jerome® 631-X, para a detecção de H_2S na faixa de 0,003 a 50 ppm; e ii) OdaLog, para medição H_2S na faixa entre 1 e 2.000 ppm.

Figura 2: Pontos de medição de odores e H_2S.

De posse dos resultados das medições de intensidade de odores em campo, foram construídos os mapas de isoconcentração de odores. Para geração de plumas e mapas que representem a abrangência e intensidade dos resultados de monitoramento de odores obtidos através de medição em campo, foi utilizada ferramenta de interpolação de dados inserida no software ArcMap. Tendo como referência o número de pontos espacializados e abrangência na área de análise, o interpolador mais adequado foi o IDW. A ferramenta IDW interpola uma superfície de pontos usando uma técnica de ponderação de distância inversa (IDW). O valor de saída da interpolação usando ponderação de distância inversa (IDW) é limitado à faixa dos valores usados para interpolar (pontos de amostragem). Como IDW é uma média de distância ponderada, a média não pode ser maior que a entrada mais alta ou menor. Considera- se ainda que a influência de um ponto de entrada em um valor interpolado é isotrópica, ou seja, a interpolação considera propriedades de direção e distância em relação ao ponto amostrado. As plumas geradas representam, portanto, a estimativa de concentração de odor na área de análise e a partir dos resultados de monitoramento, a partir da intensidade em relação a distância e distância em relação aos pontos amostrais.

Modelagem da dispersão atmosférica dos odores

Para a modelagem atmosférica, foi utilizado um modelo baseado na equação da pluma gaussiana. Essa equação assume que a dispersão de um poluente de uma fonte contínua tem uma distribuição normal ao eixo da pluma, tanto no plano horizontal como no vertical (direção vertical z e direção y perpendicular à direção do vento). O modelo foi construído utilizando-se o software AERMOD View 9.9., da *Lakes Environmental Software Inc.* Foram utilizadas bases topográficas atualizadas de modelagem de terreno SRTM com curvas de 30 metros oriunda do sistema cartográfico interno disponibilizado pela *Lakes* através do pré-processador topográfico AERMAP. Já a base de dados meteorológicos foi obtida do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) ou do modelo *Weather Research & Forecasting – WRF*, conforme discutido a seguir. Foi definida uma área de modelagem com 36 km^2 aproximadamente e 441 pontos receptores. Estes pontos receptores foram distribuídos numa malha com espaçamento de cerca de 290 m x 290 m.

Na modelagem atmosférica foi utilizada a técnica denominada modelagem reversa da dispersão atmosférica, que em linhas gerais consiste em [9, 10]: (i) simulações de modelagens com diferentes taxas de emissão assumidas aleatoriamente e iguais para todas as fontes, e comparação das plumas do modelo com as aquelas medidas de campo, até a obtenção de uma distribuição espacial semelhante. Nesse caso, a base de dados meteorológicos do modelo deve compreender o mesmo período das medições realizadas em campo e, neste estudo, foi utilizado o banco de dados meteorológicos horários do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); (ii) determinação da taxa individual de cada fonte a partir da ponderação da taxa total calculada anteriormente pelas concentrações máximas medidas nas fontes em campo; (iii) modelagem final considerando as taxas individuais anteriores e três anos de dados meteorológicos, neste estudo obtidos pelo modelo *Weather Research & Forecasting – WRF* (2018 a 2020).

RESULTADOS

Monitoramento dos odores e do H_2S

As Figuras 3 e 4 a seguir mostram, respectivamente, as concentrações máximas de odores e de H_2S nas proximidades das fontes emissoras. Como as medições olfatométricas são realizadas em uma escala discreta de diluições seriadas, os resultados das concentrações de odores (em UO_E/m^3) devem ser expressos em uma faixa compreendida entre a diluição da detecção do odor e a diluição anterior. Portanto, a unidade de odor é uma medida discreta, e não contínua. Avaliando as medições nas fontes de emissão, as maiores intensidades de odores e de H_2S foram detectadas na CDV II (reunião dos efluentes dos reatores UASB) e nas canaletas de coleta de efluente dos próprios reatores. Esses resultados podem ser explicados pela presença de grandes quantidades de gases dissolvidos nos efluentes dos reatores, incluindo o H_2S [1,2].

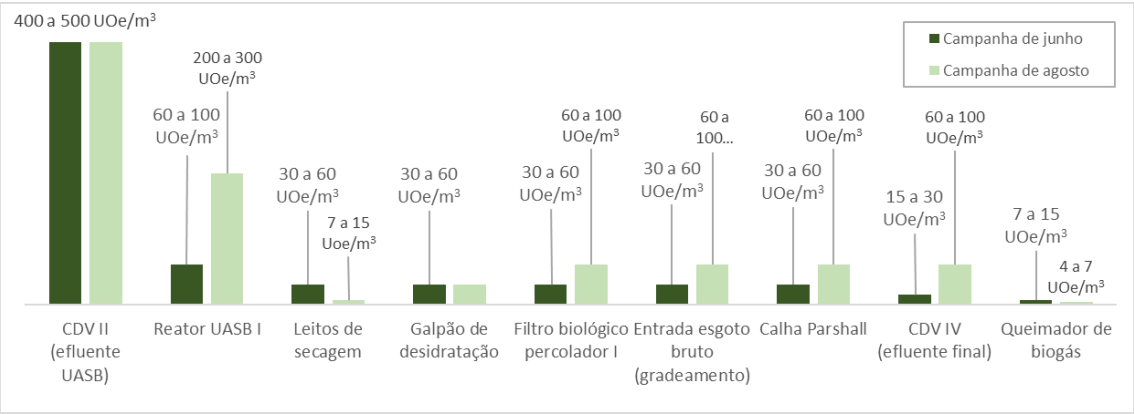

Figura 3: Concentrações máximas de odores nas fontes emissoras da ETE nas duas campanhas de amostragem.

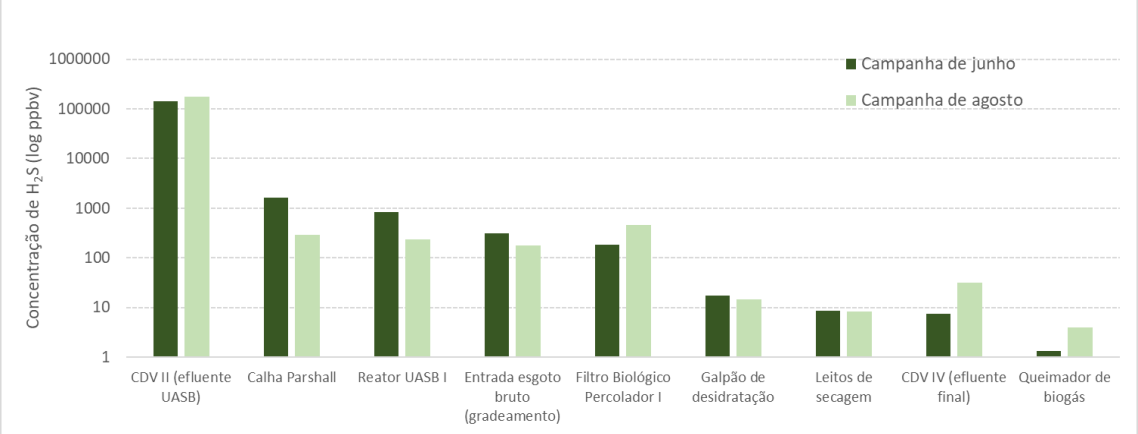

Figura 4: Concentrações máximas de H_2S nas fontes emissoras da ETE nas duas campanhas de monitoramento. Eixo Y em escala logarítmica.

Já a Figura 5 a mostra o mapa de isoconcentração com os resultados do monitoramento olfatométrico da primeira campanha, considerando uma pluma com as intensidades máximas dos odores mensurados em uma semana completa de monitoramento. Na vizinhança, os valores variaram de "não detectado" a "menor que 7 UO_E/m^3". Embora perceptível ao olfato humano, em geral os odores se apresentaram inferiores aos limites internacionais usados como referência para incômodos, exceto para a região da rotatória a oeste da divisa com a ETE, onde foram registrados valores acima do estabelecido em determinadas localidades nos EUA (ex.: São Francisco - 5 UOE/m^3) [8]. Embora os resultados do monitoramento do H_2S não estejam representados na Figura 5, vale pontuar que, se considerado todo o conjunto dos pontos monitorados na comunidade do entorno, apenas aquele localizado na referida rotatória apresentou concentrações de H_2S superiores ao limite de percepção humana (8 ppbv).

Modelagem da dispersão atmosférica dos odores

Utilizando-se do banco de dados meteorológicos do INMET para o período das duas campanhas de monitoramento, foram realizadas simulações para calibração do modelo de dispersão de odores por modelagem reversa. As plumas das concentrações máximas obtidas na modelagem reversa (Figuras 6 e 7) se ajustaram perfeitamente aos resultados mesurados em campo (Figura 5), validando as taxas de emissão de odores obtidas pelo método. Os dados apresentados na Tabela 1 mostram as taxas de emissão de odores calculadas pelo método, as quais posteriormente foram utilizadas na modelagem final considerando o banco de dados meteorológicos completo da WRF e também na modelagem do cenário com aplicação de medidas mitigadoras para a redução de odores. Vale destacar que as taxas de emissão obtidas no presente estudo estiveram na mesma ordem de grandeza de estudos similares [11].

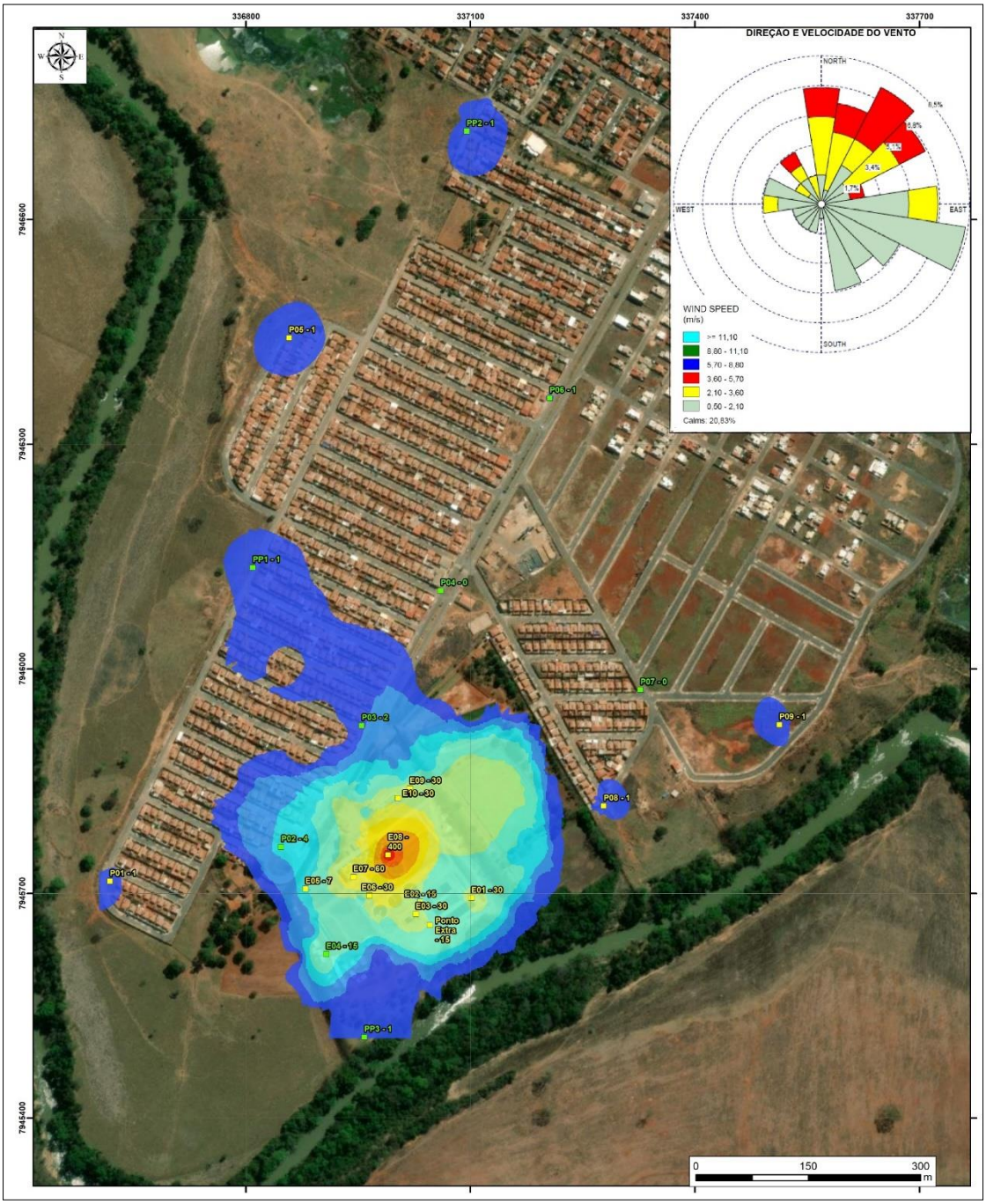

Figura 5: Concentrações máximas de odores registradas na primeira campanha de monitoramento.

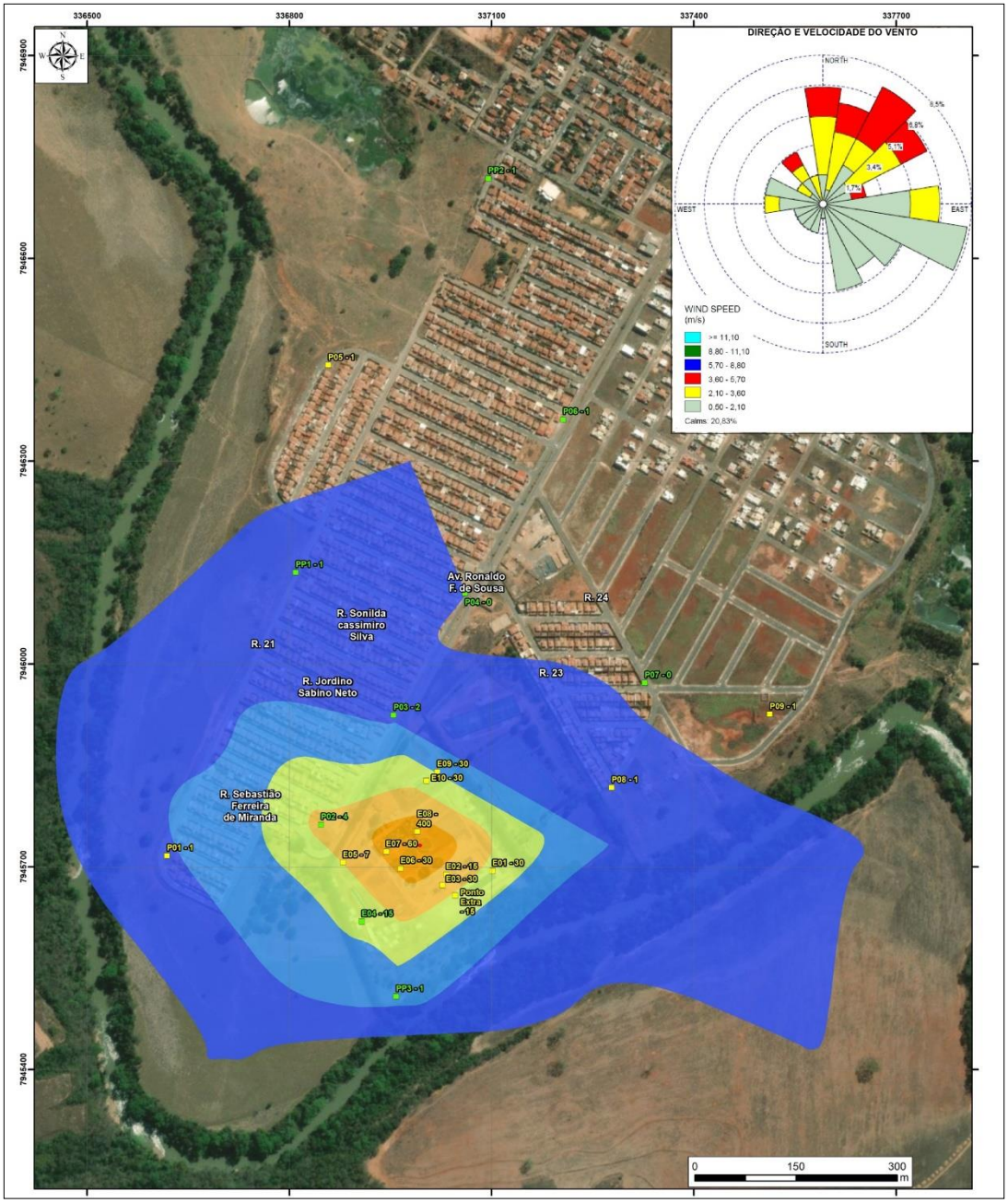

Figura 6: Pluma de odores obtida na calibração do modelo (modelagem reversa) considerando a taxa média de emissão nas fontes igual a 0,28 $UO_E/m^2/s$

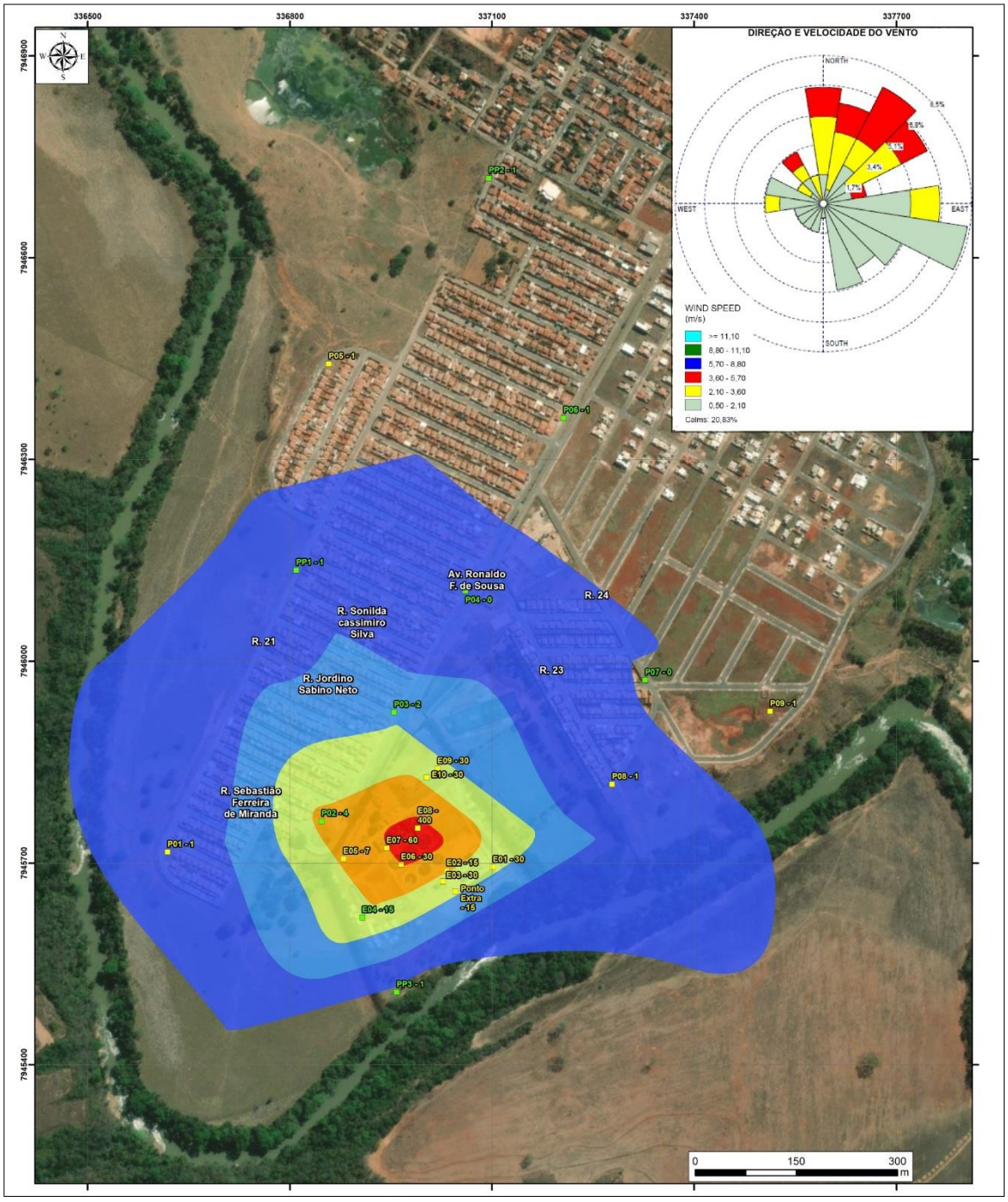

Figura 7: Pluma de odores obtida na calibração do modelo (modelagem reversa) considerando as taxas de emissão ponderadas apresentadas na Tabela 1

Tabela 1: Taxas de emissão ponderadas de cada fonte, para as duas campanhas, obtidas por modelagem reversa para a situação do diagnóstico da operação normal da ETE e para o cenário hipotético com mitigação dos odores

Unidade operacional da ETE	Campanha 1- Taxas de Emissão Ponderadas ($UO/s/m^2$)	UO/s	Campanha 2 - Taxas de Emissão Ponderadas ($UO/s/m^2$)	Média entre as Taxas de Emissão Ponderadas da Campanhas 1 e 2 ($UO/s/m^2$) - Cenário Atual	UO/s	Cenário com Mitigação de Odores ($UO/s/m^2$)
Calha Parshall	3,61	43,1	6,22	4,92	58,6	4,92
Canais do tratamento preliminar	0,38	43,1	0,65	0,52	58,6	0,52
Reator UASB 01	0,20	86,1	0,52	0,36	154,2	0,18
Reator UASB 02	0,20	86,1	0,52	0,36	154,2	0,18
Reator UASB 03	0,20	86,1	0,52	0,36	154,2	0,18
CDV II	8,94	574,2	5,77	7,36	472,3	0,74
FBP 01	0,11	43,1	0,19	0,15	58,6	0,02
FBP 02	0,11	43,1	0,19	0,15	58,6	0,02
FBP 03	0,11	43,1	0,19	0,15	58,6	0,02
CDV IV	2,29	21,5	7,88	5,09	47,8	5,09
Galpão Desidratação	0,33	43,1	0,34	0,34	43,8	0,34
Leito de Secagem 01	0,08	43,1	0,02	0,05	27,1	0,05
Leito Secagem 02	0,08	43,1	0,02	0,05	27,1	0,05
Leito Secagem 03	0,08	43,1	0,02	0,05	27,1	0,05
Queimador de Biogás	50,24	10,0	25,93	38,09	7,6	38,09

Finalmente, a Figura 8 mostra a pluma de dispersão de odores obtida na modelagem final para as concentrações do percentil 99,5 observadas no período de dados meteorológicos de três anos. De acordo com a Figura 8, há potencial para que a população de entorno perceba os odores emitidos pela ETE. Avaliando-se os limites adotados na Noruega e na Nova Zelândia (odor < 1,0 UO_E/m^3 no percentil 99,5) [8], a percepção dos odores poderia gerar incômodos nos quarteirões imediatamente à oeste da ETE. Considerando esses resultados e as medições realizadas em campo, foram identificadas as seguintes fontes principais de emissão que contribuíam para essa condição: i) tratamento preliminar (gradeamento e medidor *Parshall*); ii) CDV II (reunião dos efluentes dos reatores UASB); iii) canaletas de coleta de efluente dos reatores UASB; iv) filtros biológicos percoladores (FBPs). A partir dessa análise, foram propostas medidas de controle considerando o desprendimento, a captura e o tratamento dos gases odorantes na CDV II e nas canaletas de coleta dos efluentes dos reatores UASB. Conforme recomendando por Brandt *et al.* (2018, 2019, 2021) [1, 2, 12], foi proposta a instalação de uma câmara de dessorção de gases dissolvidos nos efluentes dos reatores UASB, bem como a cobertura e exaustão parcial das canaletas de coleta dos efluentes dos reatores UASB. Considerou-se o tratamento dos gases exauridos em biofiltros. O resultado da modelagem desse cenário é apresentado na Figura 9 (vide taxas de emissão ajustadas na Tabela 1 e utilizadas para a configuração de tal cenário), onde observa-se que as concentrações não infringiram os referidos limites mais restritivos usados na Noruega e na Nova Zelândia [8]. Dessa forma, a modelagem matemática corrobora a efetividade das medidas para o controle dos incômodos gerados na comunidade de entorno.

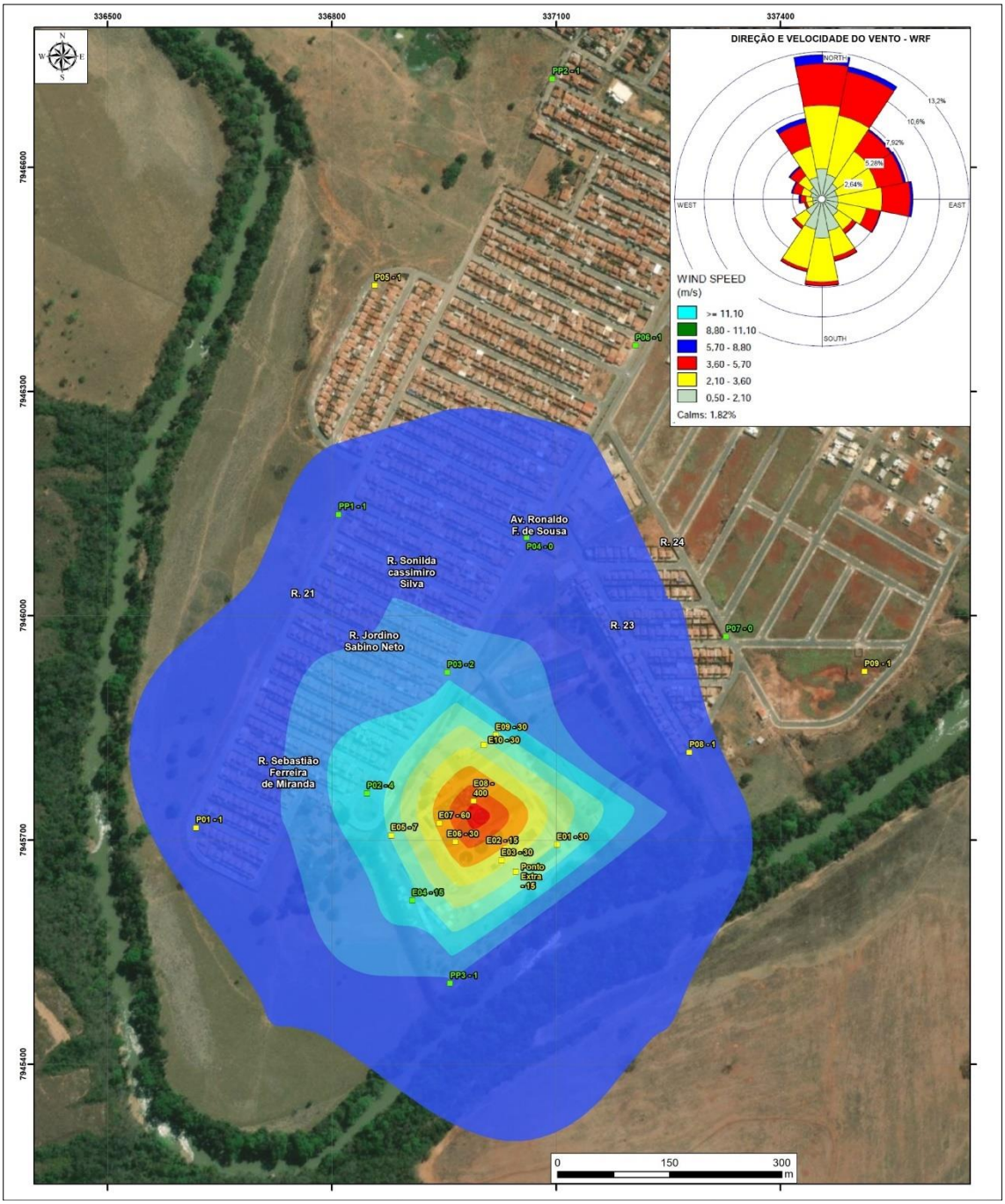

Figura 8: Pluma de dispersão odores com as concentrações do percentil 99,5 obtidas na modelagem matemática final para a situação do diagnóstico da operação normal da ETE

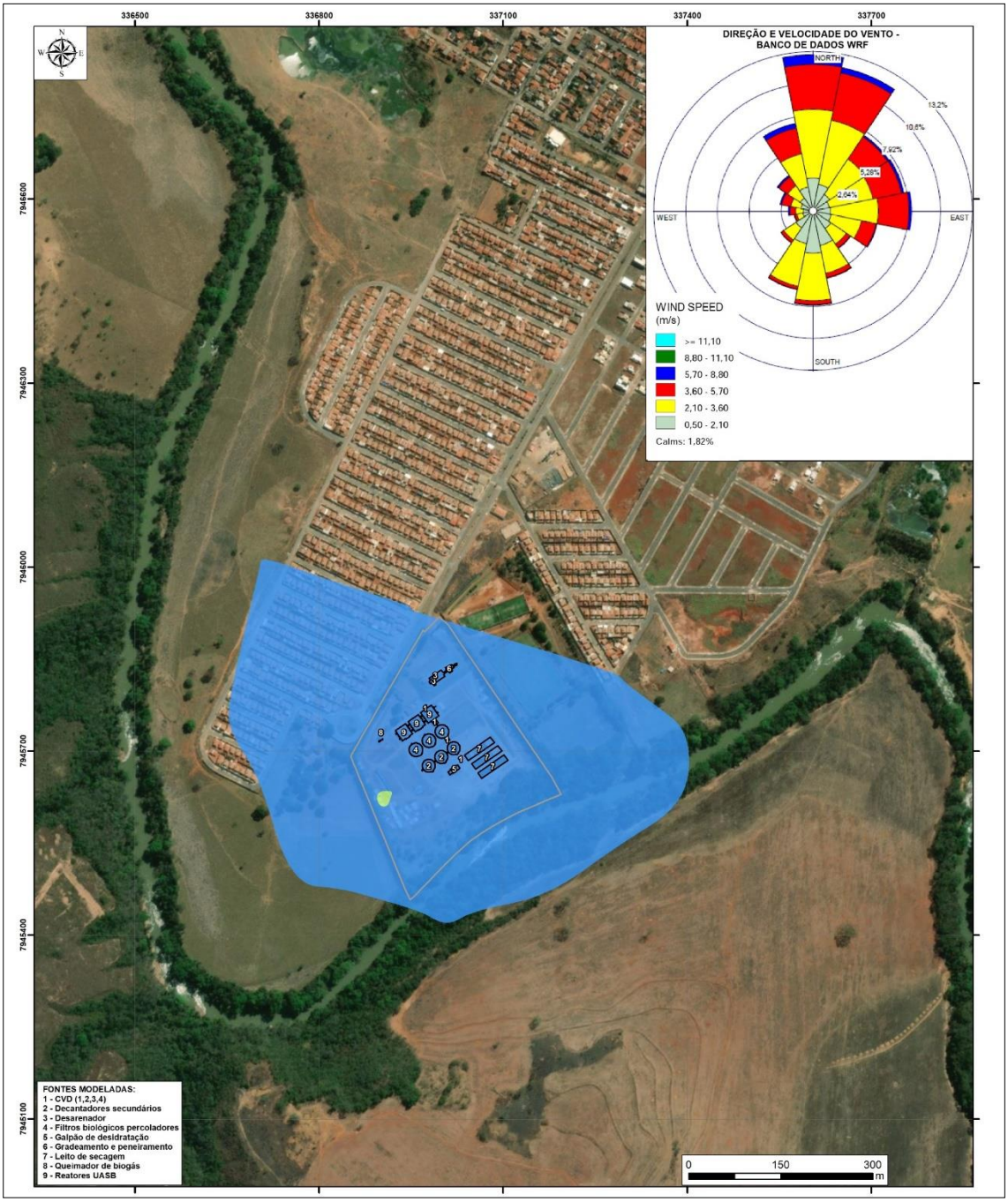

Figura 9: Pluma de dispersão de odores com as concentrações máximas obtidas para o cenário de aplicação das medidas de controle

CONCLUSÕES

Embora o monitoramento dos odores e do H_2S realizado em campo tenha indicado níveis associados a incômodos em um ponto específico da área de estudo, ele não foi capaz de mostrar toda a abrangência da área suscetível aos incômodos causados pelos odores, conforme demonstrado pela modelagem da dispersão atmosférica dos odores. Nesse sentido, a modelagem se mostrou como uma ferramenta mais apropriada para a espacialização das áreas suscetíveis aos incômodos causados pelos odores emitidos pela ETE. No entanto, o monitoramento realizado em campo foi fundamental para a obtenção das taxas de emissão que alimentaram e validaram o modelo. Adicionalmente, o uso da modelagem por si só não descarta a necessidade do monitoramento dos odores e do H_2S para avaliar se os impactos estão se comportando conforme previsto.

Por fim, a conjugação das técnicas de detecção e espacialização dos odores e do H_2S se mostrou como poderosa ferramenta para a definição de medidas mais eficazes para controle dos incômodos causados pelos odores. A fim de balizar a tomada de decisão quanto à necessidade de implementação de medidas de controle de odores na ETE, foi realizada modelagem considerando a instalação de uma câmara de dessorção de gases dissolvidos nos efluentes dos reatores UASB e a cobertura parcial das canaletas de coleta dos efluentes dos reatores UASB, assim como a exaustão e o tratamento dos gases recolhidos nessas duas fontes principais de emissão de odores. A modelagem em questão demonstrou que em nenhum local os limites legais internacionais associados à modelagem da dispersão atmosférica seriam extrapolados, reforçando a efetividade e a necessidade de tais medidas mitigadoras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRANDT, E. M. F.; MCADAM, E. J.; NOYOLA, A. Control of diffuse emissions in UASB reactors treating sewage. In: (Ed.). Anaerobic Reactors for Sewage Treatment: Design, Construction, and Operation. ed. London: IWA Publishing, 2019. p. 245-283.
2. BRANDT, E. M. F.; SANTOS, J. M. B.; SOUZA, C. L.; POSSETTI, G. R. C.; BRESSANI-RIBEIRO, T.; CHERNICHARO, C. A. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário – Parte 4: Controle de corrosão e emissões gasosas. Revista DAE, v. 214, n. 66, p. 56-72, 2018.
3. METCALF, L.; EDDY, H. P. Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2016. 1980 p.
4. LAOR, Y.; PARKER, D.; Pagé, T. Measurement, prediction, and monitoring of odors in the environment: a critical review. Rev. Chem. Eng., v. 30, 2014.
5. BOCKREIS, A.; STEINBERG, I. Measurement of odour with focus on sampling techniques. Waste Manag. Oxf., v. 25, p. 859-863, 2005.
6. CEN - COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. Air quality - Determination of odour concentration by dynamic olfactometry. European Standard EN13725. CEN, Brussels, 2003.
7. ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Practice for Determination of Odor and Taste Thresholds by a Forced-Choice Ascending Concentration Series Method of Limits. ASTM E679-04. ASTM, West Conshohocken, 2011.
8. BRANCHER, M.; GRIFFITHS, D. K.; FRANCO, D.; LISBOA, H. M. A review of odour impact criteria in selected countries around the world. Chemosphere, v. 168, p. 1531-1570, 2017.
9. CAPELLI, L.; SIRONI, S. Combination of field inspection and dispersion modelling to estimate odour emissions from an Italian landfill, Atmos. Environ., v. 191, p. 273-290, 2018.
10. MALHEIROS, A.L.; NOCKO, H.R.; PERAZZOLI, J.P.; RODRIGUES, T.B.; SCHUBA, T.B.; GOBBI, E.F. Estimativa de emissões odoríferas e avaliação de impacto a partir da integração das técnicas olfatometria de campo e modelagem reversa de dispersão. In: XIX CBMET. João Pessoa, 2016.
11. VARELA-BRUCE, C.; ANTILEO, C. Assessment of odour emissions by the use of a dispersion model in the context of the proposed new law in Chile. J. Environ. Manage., v. 295, 2021.
12. BRANDT, E.M.F.; SOUZA, C.L.; CENTENO-MORA, E.; BIANCHETTI, F.J.; SANTOS, J.M.B.; CHERNICHARO, C.A.L. Avanços nas técnicas de controle de emissões gasosas em ETEs com reatores anaeróbios. Nota Técnica 1 - Tópicos de interesse. Cadernos Téc. Eng. Sanit. e Amb., v. 1, p. 5-22, 2021.