



**XX SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO II

GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS - GPT

AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS DE RISCOS PROPORCIONADOS POR POSSÍVEIS VAZAMENTOS DE GASES, UTILIZANDO MODELO MATEMÁTICO DE DISPERSÃO

Eliseu Esmanhoto (*) **Akemi Kan** **Ana Teresa Calmon** **Juliane Rodrigues** **Cesar Andreazza**
LACTEC **LACTEC** **LACTEC** **LACTEC** **LACTEC**

Amilton Bizi Jr. **Roberto Kohiyama**
COPEL **COPEL**

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar cenários de riscos provenientes do vazamento de produtos inflamáveis, usando modelo de dispersão atmosférica. Para avaliação destes cenários foi desenvolvido um sistema de monitoramento de vazamento que usa dados meteorológicos coletados em tempo real para modelar a dispersão atmosférica, e apresenta os locais de maior concentração da substância. Foi desenvolvida uma interface gráfica para tornar esse sistema amigável ao usuário, onde as concentrações resultantes da dispersão são mostradas através de cores indicativas de faixas de concentração. Este estudo piloto disponibiliza para a usina uma nova ferramenta para a operação mais segura na produção de energia térmica.

PALAVRAS-CHAVE

Usina Térmica, Dispersão de Gás, Modelagem Matemática, Risco de Vazamento, Sistema de Monitoramento.

1.0 - INTRODUÇÃO

Com o crescente interesse em meio ambiente observado nas últimas décadas, mais esforços têm sido concentrados na análise da dispersão de poluentes em ambientes urbanos através de estudos científicos e do monitoramento e controle da qualidade do ar (1) (5). Neste contexto, os modelos de predição de transporte de poluentes na atmosfera representam uma importante ferramenta para a previsão do impacto de futuras fontes de poluição para a gestão ambiental e de segurança de processos industriais já instalados.

Alberti e Esmanhoto (9) realizaram medições de poluições atmosféricas aliadas às observações meteorológicas, verificando a importância de possuir ferramentas precisas e rápidas para a identificação de possíveis impactos. Os impactos ambientais provocados pelos poluentes lançados na atmosfera são preocupantes (4) e causam grandes prejuízos sócio-econômicos (7). A dispersão de um poluente está relacionada principalmente à dinâmica da movimentação do ar atmosférico. Para a predição do deslocamento do poluente são necessários dados meteorológicos, sendo a velocidade do vento e a radiação solar incidente as variáveis que fortemente interferem nessa dispersão (3).

A Usina Elétrica a Gás Araucária, UEGA, entrou no sistema elétrico brasileiro fornecendo 484,5 MW de energia elétrica em setembro de 2006. O combustível utilizado para a geração de energia é o gás natural. Esse gás é inodoro e altamente inflamável, e qualquer vazamento pode ocasionar sérios danos sociais e econômicos.

Neste estudo foi desenvolvido um sistema piloto, automatizado, de monitoramento meteorológico e de alerta das áreas a serem atingidas pela pluma de gás proveniente de um possível vazamento na operação da usina, utilizando o modelo de dispersão atmosférica ISCST3 (2) (*Industrial Source Complex Short Term - versão 3*). Esse sistema piloto de monitoramento espacial e temporal, em tempo real, da pluma de gás proveniente de um possível vazamento apresenta as áreas que possam ser atingidas pelo vazamento e as suas respectivas concentrações. Os resultados apresentados em forma de imagens permitem uma tomada de decisão eficiente para evacuação do local ou para análise da situação, tornando a manipulação do gás natural mais segura. Para o estudo, foi utilizada

uma estação meteorológica onde os dados monitorados são transmitidos via rádio ao computador e utilizados nas simulações do modelo. Além disso, o sistema dispõe de uma interface gráfica que facilita o seu manuseio. Esse sistema está em fase de implantação na UEGA, sendo disponibilizado para uso através da rede de *intranet*. Com a sua implantação, a UEGA irá dispor de uma ferramenta *on-line* para auxiliar na tomada de decisão em caso de vazamento, subsidiando programas de ações a serem adotadas em situação emergencial.

2.0 - SISTEMA DE MONITORAMENTO DA DISPERSÃO DE VAZAMENTO EM TEMPO REAL

O sistema de monitoramento de vazamento em tempo real consiste na medição de variáveis meteorológicas e transmissão, via rádio, ao sistema de recepção implementado em um computador, que armazena os dados monitorados e executa simulações do modelo de dispersão ISCST3.

Para facilitar o entendimento e estruturar as etapas de armazenamento e tratamento de dados de entrada e saída do modelo de dispersão atmosférica adotado, foi elaborado um fluxograma geral do sistema, apresentado na Figura 1. Os dados de entrada do sistema são os meteorológicos monitorados em tempo real, dados horários de radiação solar incidente e dados da emissão, que é o vazamento propriamente dito. Inicialmente é feita a formatação dos dados, colocando-os nos formatos requeridos pelo modelo. Todos os dados meteorológicos são agrupados no arquivo MET e os de emissão no arquivo INPUT FILE. O modelo digital de elevação (MDE) gerado a partir de dados topográficos da região foi obtido do *Shuttle Radar Topography Mission* da NASA com resolução de aproximadamente 90m. O modelo ISCST3 está acoplado ao sistema e é acionado a cada minuto utilizando os dados monitorados em tempo real. A saída do modelo é a concentração (variável Z), em mg/m^3 , do gás, em cada ponto de coordenadas (X,Y), plotados sobre o mapa da região da UEGA, utilizando um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

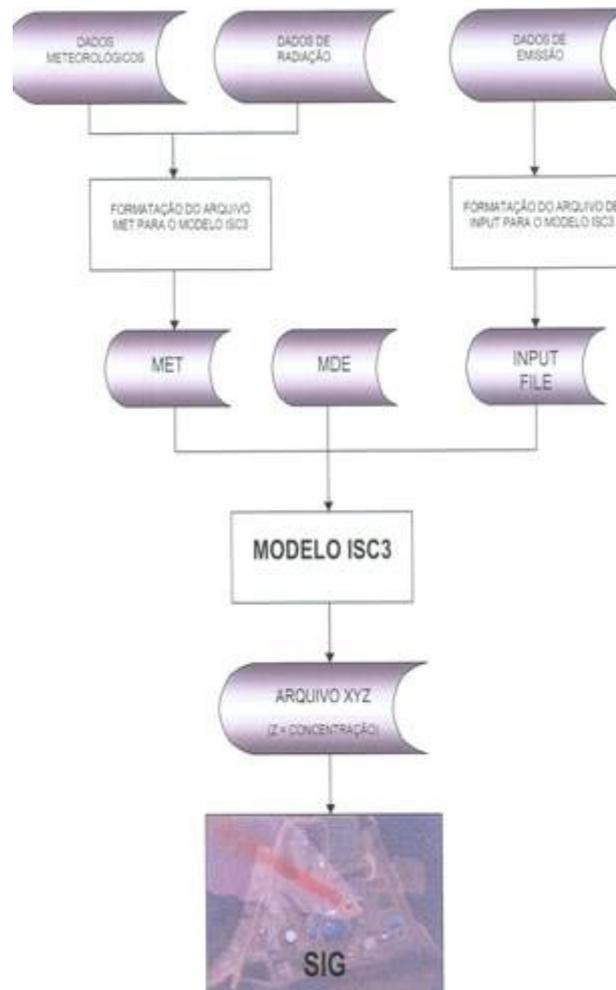


Figura 1. Fluxograma do sistema de monitoramento de vazamento da UEGA.

3.0 - ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

A estação meteorológica WMR928N mostrada na Figura 2 é composta de um sistema de medição das variáveis meteorológicas apresentadas na Tabela 1.



Figura 2 – Foto da estação meteorológica.



Figura 3 - Rádio-sensor para recepção dos dados medidos.

Tabela 1 – Variáveis meteorológicas medidas pela estação

Variável	Limite de Medição	Precisão	Observação
Temperatura do ar (°C)	-20 a 60	0,1	Medição em ambiente externo e interno
Umidade do ar (%)	2 a 98	1	Medição em ambiente externo e interno
Temperatura do ponto de orvalho (°C)	-10 a 60	0,1	Medição em ambiente externo
Velocidade (m/s)	0 a 56	0,2	Medição em nós e conversão para m/s
Direção do vento (graus)	0 a 359	1°	Precisão gráfica de 10°
Pressão atmosférica (mb)	795 a 1050	1	

Os dados monitorados na estação são enviados via rádio-sensor ao sistema de recepção (Figura 3), que é acoplado a um computador. A capacidade de transmissão do rádio-sensor é de aproximadamente 100 metros. Os dados coletados podem ser vistos, graficamente, na tela do computador, através do programa *Weather Display* (Figura 4). À medida que são gerados, estes dados meteorológicos são armazenados, tratados e usados como entrada para o modelo de dispersão.

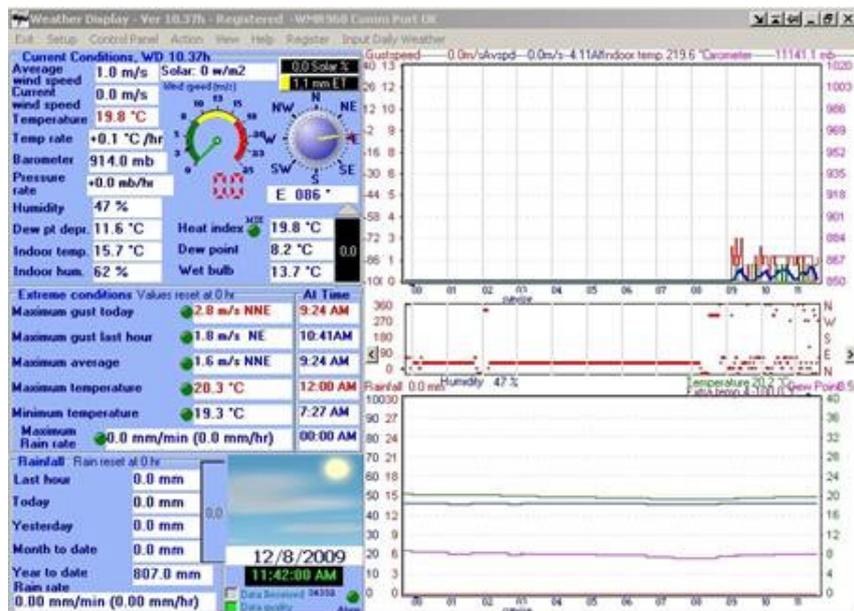


Figura 4 – Tela do programa Weather Display, ilustrando o sistema de medição em tempo real.

4.0 - ÁREA DE ESTUDO

A Usina Termoeletrica de Araucária está localizada no município de Araucária no Estado do Paraná, próximo à Curitiba e, ocupa uma área de 25,4 ha a uma altitude de 898 metros. A Figura 5 ilustra a planta da UEGA com as duas turbinas de combustão CT (*Combustion Turbine*) 1 e 2, os locais com potencial de vazamento e as respectivas substâncias: gás natural (GN); gás liquefeito de petróleo (GLP) e NAFTA. Como a UEGA está operando apenas com o gás natural (CH₄) sem transformação, a avaliação de risco foi feita somente para este gás. A Figura 6 mostra as turbinas de geração de energia a gás da usina: CT1 e CT2, consideradas como um dos locais de risco para vazamentos.



Figura 5 - Vista aérea da UEG Araucária



Figura 6 – CT1 e CT2 da UEG Araucária.

5.0 - MODELO DE DISPERSÃO DE POLUENTES

A modelagem da dispersão atmosférica é muito usada em aplicações de programas regulatórios estabelecidos por Resoluções do governo e/ou órgãos ambientais e tem sido amplamente utilizada pela comunidade científica em todo o mundo. Modelos de dispersão são muito úteis para demonstrar se os padrões de qualidade do ar estão sendo observados e para revisão, prevenção e simulação de cenários de poluição e acidentes com substâncias potencialmente poluidoras ou inflamáveis. A Resolução do CONAMA Nº. 3, de 28/06/1990 (1), e a nova Resolução Estadual SEMA Nº 054, de 22/12/2006 (8), estabelecem os padrões de qualidade do ar a serem seguidos, classificados em níveis primários e secundários. Como nem sempre é possível se medir a qualidade do ar por meio de estações de monitoramento, a modelagem se traduz em uma ferramenta útil para se estimar a qualidade do ar de uma região e o impacto dos poluentes emitidos por várias fontes, principalmente industriais e veiculares. Este estudo utilizou o modelo de dispersão ISCST3, de pluma gaussiana, desenvolvido pela agência de proteção ambiental americana, a U.S. EPA (2). O modelo ISCST3 é do tipo *steady-state*, ou seja, tanto os parâmetros meteorológicos quanto a taxa de emissão são considerados constantes enquanto a pluma está se deslocando da fonte para o receptor (2).

O ISCST3 é robusto e muito utilizado em casos de dispersão regional de poluentes atmosféricos. Esse modelo é capaz de fornecer as direções predominantes em tempo real da pluma de gás a partir de um ponto de lançamento, fornecendo ao usuário os locais de risco, permitindo assim a mobilização segura das pessoas para locais mais seguros.

Os parâmetros de entrada do modelo são as variáveis meteorológicas, topografia da região e dados do vazamento. Alguns cenários hipotéticos foram montados e foram estudados para avaliar os riscos ocasionados por possíveis vazamentos de gás na UEGA. Esses cenários permitiram elaborar as condições iniciais do modelo. Essas condições são suposições que se referem ao tipo de vazamento, taxa de emissão, velocidade de lançamento, temperatura do gás no instante em que este é lançado para atmosfera, ao diâmetro do orifício de vazamento e à altura a partir do solo em que se encontra o vazamento. Os dados planialtimétricos da área de abrangência da usina também fazem parte das condições de contorno do modelo.

6.0 - METODOLOGIA

A metodologia consistiu, inicialmente, na instalação de uma estação de monitoramento na usina para obtenção de dados meteorológicos em tempo real. Os dados meteorológicos e topográficos da região de estudo são utilizados como entrada para o modelo, além dos dados de emissão do poluente de interesse. A estimativa da taxa de emissão dos compostos orgânicos voláteis é feita a partir do levantamento teórico das emissões ou dos possíveis pontos de vazamento. Neste projeto, o composto orgânico volátil restringiu-se ao gás natural que é utilizado na UEGA. Como é difícil quantificar a intensidade do vazamento são definidos valores hipotéticos e três classes de vazamento: pequeno, médio e grande. A definição dessas classes é empírica, baseada em experiências prática dos técnicos do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento LACTEC/CEHPAR e da UEGA.

Os dados topográficos da região foram obtidos a partir da missão *Shuttle Radar Topography Mission* da NASA, realizada em fevereiro de 2000, que coletou dados 3D de mais de 80% de toda a superfície da Terra. O modelo digital de elevação gerado com os dados apresenta uma resolução de aproximadamente 90m.

Os dados coletados na estação de monitoramento meteorológico são utilizados para o estudo das condições do tempo local e para a avaliação de cenários de riscos através do modelo de dispersão ISCST3. Os parâmetros meteorológicos medidos e armazenados foram: direção e velocidade do vento, temperatura, umidade relativa, radiação global, pressão atmosférica e intensidade de chuva.

Com base nos dados meteorológicos e nas estimativas de emissões, o modelo de dispersão realiza simulações utilizando os dados meteorológicos recém coletados. As concentrações resultantes dessa simulação são apresentadas graficamente, considerando o plano horizontal a uma altura de 2 metros do nível do solo da usina. Os cenários relevantes de direção e concentração de poluentes são alocados em cada coordenada geográfica. O resultado obtido é apresentado através de uma interface gráfica, que auxiliará na avaliação do cenário em caso de vazamentos ou acidentes na usina.

7.0 - RESULTADOS

A interface gráfica mostrada na Figura 7 foi implementada para tornar o sistema de fácil manuseio pela equipe de operação da usina. O sistema desenvolvido permite a escolha do ponto de vazamento dos gases para simulação da dispersão atmosférica. Após a simulação, observa-se a imagem aérea da planta da usina mostrando a pluma do vazamento. No lado esquerdo dessa figura pode ser observada uma legenda com diferentes faixas de concentração da substância, representadas por cores que variam do amarelo ao vermelho (sendo esta cor a de concentração mais elevada), e ainda pontos azuis que representam os 10 maiores valores obtidos. A legenda contém também os locais de possíveis vazamentos e o ponto efetivamente usado para simular o vazamento. As imagens geradas nas simulações ficam armazenadas e o usuário pode acessá-las clicando no ícone “ver” ao lado de cada simulação.

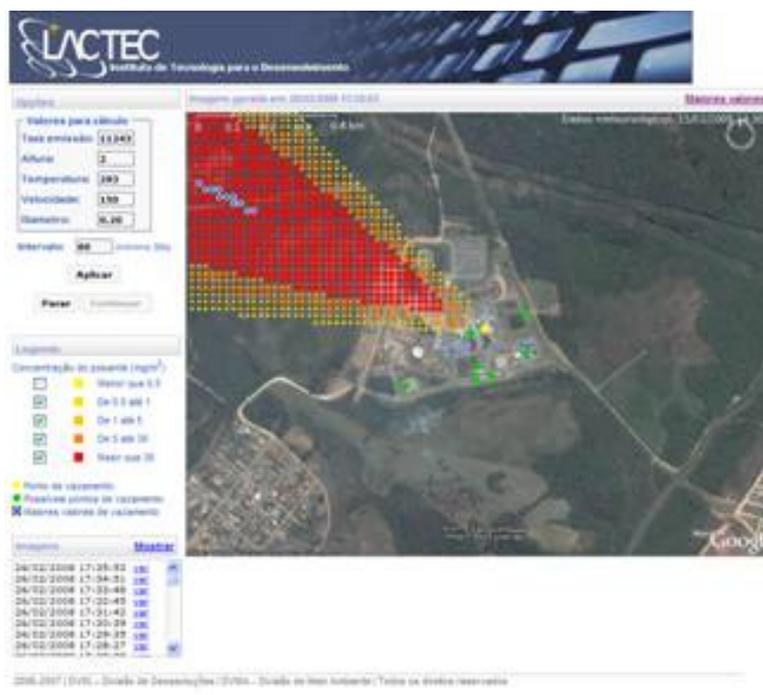


Figura 7 - Interface gráfica do sistema.

Como parâmetro de entrada para o modelo, pode-se usar valores padrão, ou alterá-los apropriadamente no canto superior da tela. Os parâmetros de entrada do modelo: i) Taxa de emissão (TE) em g/s - refere-se à taxa de vazamento; ii) Altura (H) em m – refere-se à altura do vazamento a partir da superfície; iii) Temperatura (TS) – é a temperatura média do gás em K; iv) Velocidade de saída (VS) – é a velocidade com que o gás é lançado na atmosfera através do orifício de vazamento em m/s; v) Diâmetro (D) - é o diâmetro médio da abertura ou orifício do vazamento em m, permitem realizar várias combinações, resultando em diversas possibilidades de cenários. Todas essas variáveis possuem grande incerteza intrínseca. Com intuito de restringir o número de cenários foram fixadas 3 classes de emissões: grande (TE = 11243 g/s e D = 0,20 m), média (TE = 6328 g/s e D = 0,15 m) e pequena (TE = 703 g/s e D = 0,05 m). Nesse estudo, a taxa de emissão (TE) variou linearmente em função do diâmetro do orifício. Para D igual a 0,20 m foi considerado TE igual a 11243 g/s para o gás natural. Essa taxa pode ser considerada um vazamento extremamente elevado. A velocidade de saída do gás considerada nas simulações foi de 150 m/s. A altura do vazamento foi considerada como sendo a 2 metros do nível do solo da UEGA. A temperatura média do gás na saída do orifício foi considerada como sendo 293° K, equivalente a 20°C. Além desses parâmetros, foi estabelecido o intervalo de tempo do vazamento, cujo valor mínimo considerado foi de 30s.

Algumas simulações foram realizadas variando a direção do vento para verificar a dispersão da pluma de gás proveniente de um vazamento na CT2. A direção de vento de aproximadamente 315° indica o vento que sopra de noroeste para sudeste e de aproximadamente 115° para o vento que sopra de sudeste para noroeste. O referencial em meteorologia para a variável direção do vento é a direção de onde o vento sopra e não no sentido do fluxo. As Figuras 8 e 9 mostram esses dois cenários de direção do vento, enquanto que as demais variáveis meteorológicas foram mantidas constantes, tais como: temperatura ($24,5^\circ\text{C}$); umidade relativa (62%); temperatura do ponto de orvalho ($17,7^\circ\text{C}$); velocidade do vento (1,75 m/s).

As Figuras 10 e 11 são exemplos de simulações variando o diâmetro (D) do orifício do vazamento (de 0,02 e 0,15 metros) e a taxa de emissão (TE) variando de 112 a 6328g/s, mantendo todos os dados de entrada iguais aos da simulação da Figura 9. Os dez maiores valores de concentração desta simulação encontram-se apresentados na Tabela 2. Os resultados mostram a importância do diâmetro do orifício do vazamento na dispersão do poluente, ainda que se mantenha a velocidade de saída constante ($VS=150\text{m/s}$). Quando o tamanho do orifício diminui, as maiores concentrações ficam próximas ao local do vazamento e a área atingida pela pluma do poluente se restringe consideravelmente.



Figura 8 – Dispersão do vazamento de GN na direção do vento de 315° com diâmetro de vazamento de 0,20 m.



Figura 9 - Dispersão do vazamento de GN na direção do vento de 115° com diâmetro de vazamento de 0,20 m.

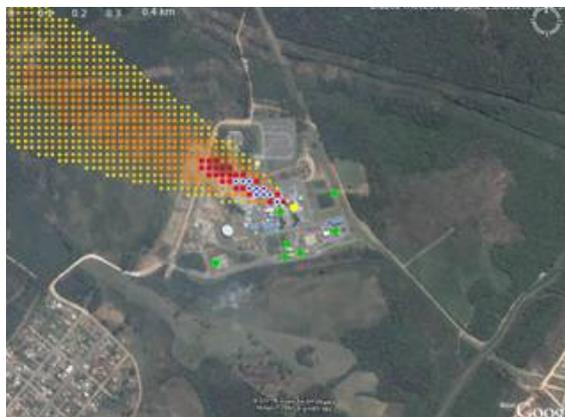


Figura 10 – Simulação com $D=0,02$ m.



Figura 11 – Simulação com $D=0,15$ m.

Tabela 2 – Resultados da simulação: 10 maiores concentrações em função do diâmetro do vazamento (D).

D (m)	0,02	0,05	0,10	0,15
TE (g/s)	112	703	2812	6328
Ponto	Concentração (mg/m^3)			
1	134,1	190,98	215,5	224,9
2	125,1	189,2	214,6	224,2
3	107,9	184,9	213,6	224,0
4	104,7	181,1	213,0	223,7
5	93,2	173,2	209,4	222,4
6	82,7	170,3	208,4	222,0
7	78,8	164,8	206,8	220,9
8	77,4	163,7	206,3	220,8

9	72,4	161,1	204,4	219,4
10	67,0	159,9	203,9	219,3

Foram realizadas ainda simulações de outros 2 cenários, considerando-TE = 703 g/s, TS = 293 °K, VS = 150 m/s, D = 0,05 m, radiação solar incidente igual a 629 W/m² e direção do vento constante e igual a 115°. Um dos cenários considerou a velocidade do vento (VV) constante de 1 m/s e o outro considerou VV = 5 m/s. Os resultados obtidos dessas simulações são mostrados nas Figuras 12 e 13. Observou-se que, com o aumento da intensidade do vento, a amplitude do feixe da pluma diminui e o formato da pluma fica alongado. Na Tabela 3 são apresentadas as dez maiores concentrações obtidas de cada simulação. O alto valor da radiação solar incidente fez com que o desvio padrão da distribuição da concentração lateral e vertical da pluma se elevasse, ocasionando maior dispersão do gás, e conseqüentemente menores concentrações pontuais. Observou-se, também, que a concentração se elevou com o aumento da velocidade do vento até a intensidade de 5 m/s. A partir dessa velocidade a dispersão aumentou gradualmente, diminuindo as concentrações pontuais do gás. Os resultados demonstraram a importância do monitoramento meteorológico e da modelagem matemática aplicados simultaneamente em sistema de monitoramento de vazamento em tempo real.



Figura 12 – Simulação para V=1 m/s e D=0,05 m.



Figura 13 – Simulação para V=5 m/s e D=0,05 m.

Tabela 3 – Resultados da simulação: 10 maiores concentrações em função da vel. de vento (VV) para D=0,05 m

VV (m/s)	1,0	2,0	5,0	10,0	20,0
Ponto	Concentração (mg/m ³)				
1	159,6	240,5	425,7	413,9	397,2
2	152,2	225,0	366,8	378,2	286,8
3	152,2	215,7	310,9	308,8	247,6
4	152,1	213,3	282,4	246,5	174,6
5	146,1	208,8	280,3	226,5	163,6
6	141,0	201,0	255,1	173,5	147,5
7	136,0	192,2	252,9	166,1	126,7
8	134,7	191,3	227,8	159,4	114,3
9	134,6	191,1	220,3	157,2	111,2
10	132,0	174,7	213,5	126,3	109,2

8.0 - CONCLUSÕES

O sistema de avaliação de cenário de riscos proporcionados por um possível vazamento de gás em uma usina termelétrica mostrou ser uma ferramenta muito útil para identificar os locais mais atingidos e os níveis de concentração atingidos pela substância, tornando as operações com compostos inflamáveis mais seguras.

Os resultados obtidos forneceram informações que atenderam as necessidades operacionais da UEGA, mas serão necessários ajustes, para definição mais precisa dos parâmetros de entrada do modelo, principalmente, a taxa de emissão ocasionada por um vazamento. A recomendação é a utilização de sensores de gases operando em conjunto com o modelo matemático. Estes estudos já estão em andamento no LACTEC/CEHPAR.

9.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente, "Resolução 03 de 28/06/90, Padrões Nacionais de Qualidade do Ar", 1980.
- (2) Environmental Protection Agency, "User's Guide for the Industrial Sources Complex (ISC3) Dispersion Models", vol . I – User Instructions. EPA-454/B-95-003a. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, 1995.
- (3) Environmental Protection Agency, "User's Guide for the Industrial Sources Complex (ISC3) Dispersion Models", vol . II – Description of Model Algorithms. EPA-454/B-95-003b. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, 1995.
- (4) G. B. Marini-Bertolo, "Chemical Events in the Atmosphere and Their Impact on the Environment", Elsevier Science Publishing Company, New York, 1986.
- (5) IAP – Instituto Ambiental do Paraná, LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, "Relatório da Qualidade do AR de Curitiba e Região Metropolitana", LACTEC, 2002.
- (6) R. M. Ribeiro e S. M. Alberti, "Caracterização Química da Deposição Úmida Associada a Direção dos Ventos e a Influência na Corrosão na Região de Curitiba e Araucária", Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2001.
- (7) R. Santos, S. Martinho e P. Antunes, "Avaliação Econômica dos Impactes Ambientais do Sector Eléctrico", 2º. Relatório, Centro de Economia Ecológica e Gestão do Ambiente, Universidade Nova Lisboa, Lisboa, 2001.
- (8) SEMA – Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, "Resolução 054 de 22/12/2006".
- (9) S. M. Alberti e E. Esmanhoto, "Monitoramento da Qualidade do Ar de Curitiba e Região Metropolitana". LACTEC, Curitiba, 1999, 26 p.

10.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Eliseu Esmanhoto

Nascido em Curitiba, PR em 03 de dezembro de 1965

Mestrando (término previsto em 2009) em Eng. de Materiais; Graduado (1998) em Bacharel em Química

Empresa: LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, desde 1999

Atua em Qualidade do Ar, Emissões Atmosféricas e Modelagem de Dispersão.