

A influência das condições de estabilidade atmosférica nas flutuações de concentração nas superfícies de um obstáculo isolado

*Reginaldo Rosa Cotto de Paula, Jane Méri Santos e
Valdério Anselmo Reisen*

RESUMO

A dispersão da pluma de poluentes próxima a obstáculos é um tema de interesse para arquitetos, agências reguladoras e meteorologistas da poluição do ar. Neste trabalho investiga-se as influências das condições de estabilidade atmosférica e do tempo de média na razão entre as concentrações máximas e as concentrações médias e na intensidade da flutuações de concentração, nas superfícies de um obstáculo isolado. Os dados para realização deste trabalho foram obtidos dos experimentos de campo realizados por Santos (2000). Foram utilizados detectores de foto-ionização com alta frequência (50Hz) para se obter as flutuações turbulentas de concentração. Na região do fluxo incidente, as séries temporais de concentração apresentaram episódios de concentração nula seguidos de altos valores “instantâneos” de concentração, sugerindo que nesta região existem vórtices de escalas da turbulência de tamanhos maiores ou comparáveis ao tamanho da pluma. A estratificação térmica influenciou os valores da intensidade das flutuações turbulentas de concentração na região de esteira

Palavras chave: flutuação de concentração, estratificação térmica, escoamento turbulento, intermitência.

ABSTRACT

The dispersion of effluent plume near buildings is a topic of concern to architects, regulatory agencies and air pollution meteorologists. This work, to investigate examine the influence of atmospheric stability and averaging time on the peak-to-mean and the concentration fluctuation intensity on the surface of an isolated building. The “instantaneous” concentration data was obtained from field experiments carried out by Santos (2000). A rapid response photo-ionisation detector was used to obtain high frequency data (50Hz). The time series of concentration on the windward wall showed episodes of zero concentration, which is probably related to the larger turbulent eddies than the plume width reaching the obstacle. The thermal stratification has influenced the concentration fluctuation intensity on the leeward wall

Key words: concentration fluctuation, atmospheric stability, turbulent flow, peak-to-mean.

1.INTRODUÇÃO

Estudos do escoamento e dispersão de poluentes nas proximidades de um obstáculo são úteis para identificar os efeitos que este causa no comportamento da pluma de contaminantes lançada em sua vizinhança. A presença de um obstáculo dentro da Camada Limite Atmosférica causa mudanças nos campos de pressão e de velocidade e afeta a estrutura do escoamento turbulento. O obstáculo não somente perturba o campo de vento, como também aumenta a turbulência nas suas proximidades, devido à geração de grande quantidade de tensões de cisalhamento no escoamento. Esses efeitos modificam o padrão da dispersão de poluentes na vizinhança do obstáculo. O escoamento do vento que se aproxima de um obstáculo pode depender das condições atmosféricas desde que a velocidade, o perfil de temperatura e as propriedades da turbulência sejam determinados pela predominância das condições de estabilidade (Santos, 2000). O presente trabalho investiga os efeitos das mudanças de estabilidade nas flutuações “instantâneas ” de concentração nas superfícies de um obstáculo isolado, medidas durante uma série de experimentos de campo.

Muitas pesquisas, (Saathoff et al., 1995, Oikawa e Meng, 1997), que foram realizadas para analisar o espalhamento e a

dispersão da pluma de contaminantes atmosféricos na vizinhança de obstáculos determinaram as concentrações médias dos poluentes em função do tempo. Em muitos casos, o conhecimento dos valores médios de concentração é muito importante, por exemplo, no caso de exposição à substâncias radioativas, em que o tempo total de exposição tem maior influência no impacto da saúde humana do que os valores “instantâneos” de concentração (Higson et al. , 1996). Porém, em muitos problemas ambientais práticos, torna-se necessário prever as flutuações “instantâneas” de contaminantes que ocorrem devido à turbulência atmosférica.

São exemplos relevantes: (1) a exaustão de gases odoríferos, onde o pico de concentração (ao longo de poucos segundos) pode ser mais importante do que a concentração média (ao longo de horas); (2) a ignição de gases inflamáveis que é dependente de taxas de mistura ar/combustível “instantâneas”, onde a escala de tempo do processo de ignição ocorre numa pequena fração de segundo e (3) no caso de substâncias altamente tóxicas, o pico da taxa de perigo à saúde pode aumentar pela existência de “bolsas” dentro da pluma com alta concentração devido a uma função de dano que pode ser expressa na seguinte forma: $C^n t$, onde n é um índice que pode variar entre 1 e 3, C é a concentração e t é o tempo de duração a exposição (Griffiths e Megson, 1984).

Poucos experimentos de campo foram realizados para investigar as flutuações de concentração nas proximidades de um edifício isolado. Li e Meroney (1983), examinaram as flutuações de concentração na região de esteira próxima para um modelo de obstáculo cúbico simulando uma camada limite em condições de estabilidade neutra num de túnel de vento. Utilizaram o gás argônio como traçador, que era lançado no centro do telhado para direções do vento incidente de 0° e 45° . Observaram que a intensidade das flutuações de concentração tendiam a ser reduzidas pela presença do obstáculo em relação a um escoamento não-obstruído. A razão entre a concentração máxima e a concentração média (P/M) não excedeu 99% uma função de densidade acumulativa. Indicando que um modelo de probabilidade log-normal é apropriado para medidas de P/M . Jones e Griffiths (1994), investigaram o escoamento a dispersão na vizinhança de um obstáculo isolado, usando como traçador o ar ionizado negativamente. Esta técnica permitiu que obtivessem respostas mais rápidas das medidas de concentração

para determinarem as escalas temporais e espaciais das flutuações de concentração. Mavroidis e Griffiths (1999), realizaram experimentos de campo e túnel de vento para examinar a dispersão de poluentes na região de esteira de dois obstáculos cúbicos e um cilíndrico. Investigaram as flutuações de concentração estatísticas no estudo de campo com a fonte sendo deslocada durante os experimentos. Os valores da intermitência foram altos e sempre constantes à montante e na região de recirculação ($0,5H_o$ à jusante, onde H_o é a altura do obstáculo) os valores da intermitência foram nulos, indicando o alto grau de mistura de poluentes nesta região.

Existem dois fenômenos físicos que podem influenciar as flutuações turbulentas de concentração: os movimentos de grande escala da turbulência que causam as oscilações em torno do eixo da pluma em escalas de segundos à minutos (essas oscilações são resultantes da baixa frequência das mudanças da velocidade do vento, Brown, 1987) conduzindo a períodos de concentração nula e os movimentos aleatórios de pequena escala da turbulência que misturam os poluentes dentro da pluma e nas suas extremidades, permitindo a entrada de “bolsas” de ar limpo e a saída de contaminantes, aumentando assim, o espalhamento da pluma.

A influência das oscilações da direção do vento nas medidas de concentração pode ser observada através de uma série temporal dos registros de concentração obtida quando aplica-se o tempo de média. Várias formulações tem sido desenvolvidas para expressar a dependência da razão entre a concentração máxima e a concentração média (P/M) e a razão do tempo de média. A maioria dos autores que estudaram a dispersão em terrenos abertos, utilizaram uma função proposta por Singer (1963), expressa na forma de uma lei de potência:

$$\frac{\bar{C}_1}{\bar{C}_2} = \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^p \quad (1)$$

onde \bar{C}_1 é a concentração máxima, \bar{C}_2 é a concentração média, t_1 é o tempo de média e t_2 é o tempo médio. Valores de p encontrados em terrenos abertos variam de -1 a 0 , mas um valor de $p = -0,2$ é usualmente sugerido na literatura (Strom, 1976). Hinds (1969), investigou os efeitos do tempo de média na difusão próxima de

obstáculos para fontes à montante no nível do solo e comparou com escoamentos não-obstruídos. Os resultados obtidos dos experimentos não mostraram diferenças significativas nos valores da razão entre a concentração máxima e a concentração média na região de esteira do obstáculo e do escoamento sem a sua presença. Hinds sugeriu que isto poderia não ocorrer para outras localizações da fonte em relação ao obstáculo.

O tempo de média de 1s, utilizado neste trabalho, contém informações sobre as flutuações de concentração devido aos vórtices turbulentos. Assim, a divergência dos valores medidos em relação a média (desvio padrão σ), representa as flutuações de concentração turbulenta, calculada como:

$$\sigma_c = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n (C_n - \bar{C})^2 \quad (2)$$

onde n é o número de observações, C_n é a concentração e \bar{C} é a concentração média. Para obter informação dos dados sobre as flutuações turbulentas, é importante analisar os valores das flutuações de concentração em relação aos níveis de concentração média. Então, o desvio padrão é normalizado pela concentração média e apresentado em termos da intensidade das flutuações de concentração (i), dado por:

$$i = \frac{\sigma_c}{\bar{C}} \quad (3)$$

através da equação (3), pode-se investigar as flutuações de concentração estatística em diferentes pontos físicos do obstáculo.

2. DETALHES EXPERIMENTAIS

Para investigar as flutuações turbulentas de concentrações nas superfícies de um modelo de obstáculo isolado de geometria complexa, figura 1, utilizou-se uma série de dados obtidos dos experimentos de campo realizados por Santos (2000) no Campo de Prova Dugway em Salt Lake City, Utah, USA em Agosto de 1998 durante diferentes horas do dia (incluindo a noite) para se obter dados sob diferentes condições de estabilidade. Para essas medidas das flutuações de concentração considera-se no presente

trabalho, o vento incidindo na face maior do obstáculo voltada para oeste.

Os experimentos envolviam lançamentos de um gás traçador (gás propileno), através de um tubo de 1cm de diâmetro com uma taxa de vazão de 50 l/min para uma fonte localizada a uma distância $3,5H_o$, à montante do obstáculo e a uma altura de $0,5 H_o$ acima do nível do solo, onde H_o é a altura do obstáculo. Para as medidas das concentrações “instantâneas” nas superfícies laterais e no telhado utilizou-se detectores foto-ionizantes (Photo Ionisation Detectors, PID), com alta frequência de aquisição dos dados, (50Hz), para se obter dados de concentração em escalas de tempo inferiores às escalas de tempo da turbulência atmosférica.

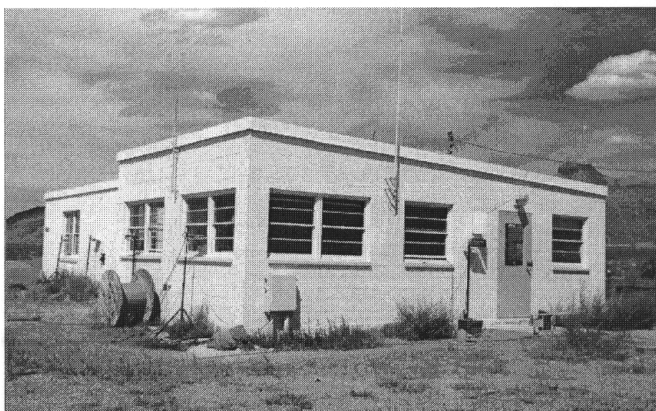


Fig. 1. Visão do obstáculo utilizado nos experimentos do Campo de Prova de Dugway.(Santos, 2000).

Uma representação esquemática do local, indicando a localização da fonte de lançamento do gás propileno e dos detectores PID, pode ser vista na figura 2(a), e uma representação esquemática do obstáculo e a localização dos sensores PID em suas superfícies na figura 2(b).

Os sensores e a fonte estavam localizados para alturas de $0,5H_o$ acima do solo, exceto o sensor 7 localizado a uma altura de $0,97H_o$, o sensor 8 localizado próximo do solo ($0,25H_o$ acima do solo) e os sensores 15 e 16 localizados no telhado do obstáculo, conforme ilustrado na Fig. (2).

Os dados meteorológicos foram obtidos utilizando-se três anemômetros ultra-sônicos localizados nas seguintes alturas do solo: $0,44H_o$, $0,88H_o$ e $1,76H_o$ a uma distância de 30 m a oeste do obstáculo. Estes instrumentos forneceram as três componentes ortogonais do vetor velocidade do vento e a velocidade do som no ar ambiente na frequência de 21 Hz.

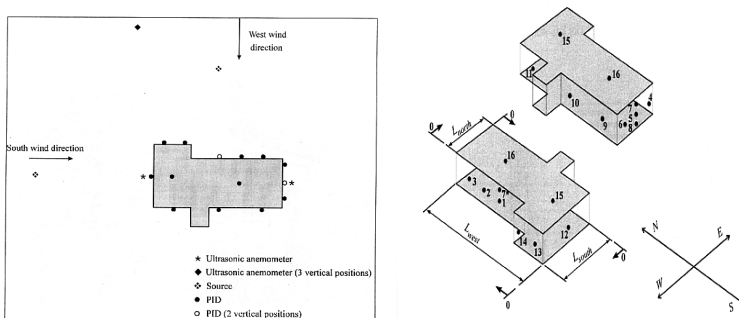


Fig. 2. (a) representação esquemática do local do experimento e (b) representação esquemática da localização dos sensores PID nas superfícies do obstáculo (Santos, 2000).

3. METODOLOGIA

Para verificar o comportamento das flutuações de concentração construiu-se diagramas de séries temporais dos registros das concentrações nas superfícies do obstáculo para o detector PID-1, localizado na região do fluxo incidente, e do PID-10, localizado na região de esteira próxima (região de recirculação), mostradas nas figuras 3(a), 3(b), 4(a) e 4(b), para condições instáveis e neutras. Cada série temporal tem 5 minutos de duração e os resultados das concentrações são apresentados na forma de concentrações adimensionais (k_c) dada por:

$$K_c = \frac{CUH_o^2}{Q} \quad (4)$$

onde C é a concentração em ppm, U é a velocidade média do vento à montante do obstáculo para a altura H_o em m/s, H_o é altura do

obstáculo em m e Q é taxa de vazão volumétrica do gás da fonte em m^3/s .

Os dados meteorológicos para os cenários escolhidos são dados na tabela 1. Onde θ é a direção do vento incidente, σ_θ é o desvio padrão da direção do vento na lateral e L é o comprimento de Monin-Obukov.

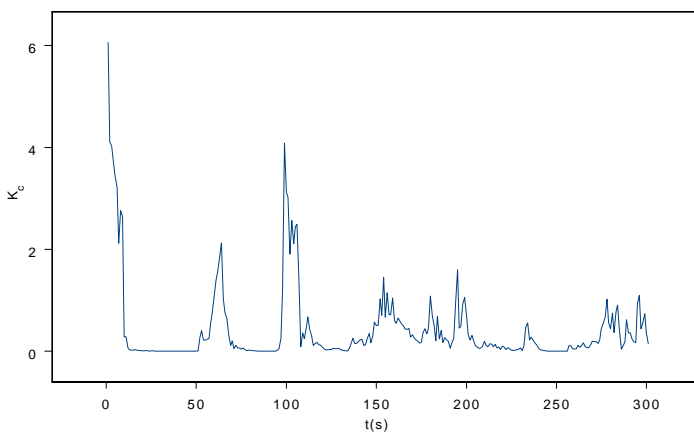
Tab. 1. Dados meteorológicos (Santos, 2000).

EXPERIMENTO	TEMPO MÉDIO (min)	VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	θ	σ_θ	L (m)
Oeste/instável	5	2,48		21,38	-0,98
Oeste/neutra	5	4,61		14,53	-24,86

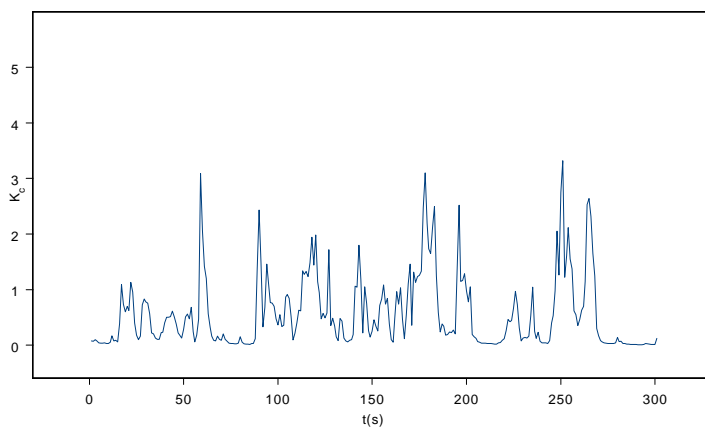
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS:

Os diagramas das séries temporais observadas para o PID-1 localizado na face à montante são significativamente diferentes das séries temporais do PID-10 localizado na face à jusante. Esta diferença é resultante da presença do obstáculo imerso na Camada Limite Atmosférica, obstruindo o escoamento atmosférico incidente e alterando profundamente a sua estrutura e, conseqüentemente, o padrão da dispersão de poluentes na sua vizinhança (maiores detalhes do padrão do escoamento nas proximidades de um obstáculo pode ser visto em Hosker, 1981).

Neste trabalho, o lançamento de contaminantes ocorreu para uma fonte localizada à montante, a uma distância $3,5H_o$ ($x = 3,5H_o$) e altura $0,5H_o$ ($y = 0,5H$), a pluma é bastante afetada pelo vórtices ferraduras e pelo escoamento incidente, respectivamente na parte superior e inferior da superfície frontal, assim, parte dos contaminantes são transportados pelos vórtices ferraduras nas laterais do obstáculo na região próxima ao solo e parte é transportada sobre o telhado para então penetrarem na zona de cavidade (ou região de esteira próxima). Para esta condição de lançamento ocorre baixos níveis de concentração na região de esteira próxima, figuras 4(a) e 4(b), quando comparadas com as concentrações medidas na região do fluxo incidente, figuras 3(a) e 3(b).

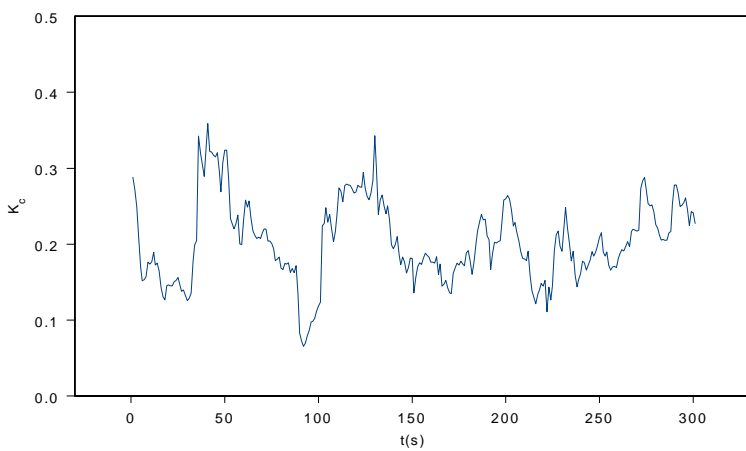


(a)

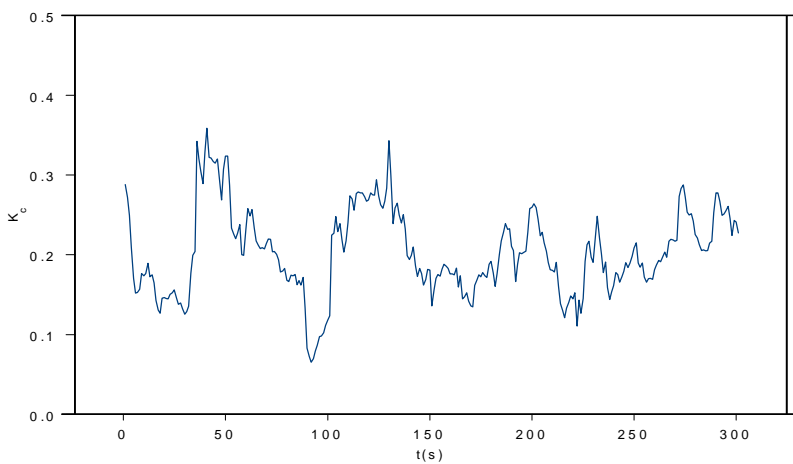


(b)

Fig. 3. Registros das concentrações do PID-1: (a) condições instáveis e (b) condições neutras.



(a)



(b)

Fig. 4. Registros das concentrações do PID-10: (a) condições instáveis e (b) condições neutras.

As diferentes escalas da turbulência em relação ao tamanho da pluma também podem contribuir para esse comportamento diferente das séries temporais (Higson et al. 1996). Os vórtices turbulentos de escala de comprimento maiores que a largura da pluma causam as oscilações da direção da pluma em escalas de segundos à minutos, conduzindo a períodos de concentração nula, enquanto os vórtices de escala com tamanho comparáveis a largura da pluma, permitem a entrada de ar limpo e saída de contaminantes na pluma e os vórtices de pequena escala agem para suavizar os gradientes de concentração dentro da pluma. No caso dos sensores localizados na região do fluxo incidente as séries temporais do sensor PID-1, figuras 3(a) e 3(b), apresentaram episódios de concentrações nulas, sendo esses episódios bem definidos. Este comportamento sugere que nesta região existem vórtices de escalas da turbulência maiores ou de tamanho comparáveis ao largura da pluma, em condições instáveis e neutras. Higson et. al. (1996), também realizaram experimentos de campo para investigar as influências da estratificação térmica em condições instáveis e estáveis nas flutuações de concentração. Para o caso instável observaram o mesmo comportamento, porém, em condições estáveis não ocorreram períodos de concentração nula na região do fluxo incidente.

Pode-se observar através dos gráficos das figuras 4(a) e 4(b) que não existiram episódios de concentração nula para os sensores localizados na região de esteira próxima, não ocorrendo diferenças significativas em condições instáveis e neutras. Esta mesma conclusão foi proposta por Snyder (1994). A região de esteira próxima é caracterizada por velocidade média baixa do escoamento e alta intensidade da turbulência, assim, tem-se uma contínua presença de poluentes nos locais medidos resultando numa boa mistura de contaminantes.

Para o cálculo da razão entre a concentração máxima e a concentração média, o tempo médio (t_2) considerado foi de 5 minutos para curtos intervalos de tempo, $t_1 = 1s$. Os experimentos sob condições instáveis indicaram um valor de $p = -0,46$, na superfície à montante e $p = -0,21$, na superfície à jusante, enquanto sob condições neutras, os valores encontrados foram $p = -0,31$, na superfície à montante e $p = -0,10$, na superfície à jusante. Em geral, valores absolutos de p são mais baixos nas paredes do obstáculo

virada contra o vento quando comparados à parede virada para o vento, sendo similares a valores encontrados em terrenos abertos ($p = -0,20$). Os valores de p sugerem que o tempo de média teve maior influência nas concentrações médias na superfície à montante, indicando que o tamanho dos vórtices turbulentos nesta parede são maiores que na região de esteira próxima. Estes resultados também mostram que existe uma significativa influência das condições de estabilidade atmosférica no cálculo de P/M , pois na região do fluxo incidente o valor de p no caso instável foi 33% maior quando comparado com o caso neutro e na região de esteira, o valor de p no caso instável foi 52% maior que o valor de p no caso neutro.

Pode-se observar na tabela 2, que os valores das intensidades das flutuações turbulentas de concentração (i), para os sensores localizados na superfície frontal não apresentaram diferenças significativas para as condições de estabilidade instável e neutra, em média 24% maiores no caso instável quando comparado ao caso neutro. Entretanto, no caso instável os valores de i foram em média 50% maiores para os sensores localizados na região de esteira próxima. Para os sensores localizados na parede lateral esquerda os valores de i no caso instável foram em média 37% maiores em relação ao caso neutro e na parede lateral direita em média 64% maiores. Este comportamento sugere que as condições de estabilidade atmosférica não tem influência nos valores de i na região do fluxo incidente, porém, em outras paredes a intensidade das flutuações turbulentas de concentração sofrem influências significativas das condições de estratificação térmica, segundo Santos et. al. (1998), provavelmente isto ocorre devido ao tamanho da região de separação que se forma nessas paredes e os altos níveis da turbulência.

No telhado, observa-se que o valor da intensidade turbulenta de concentração obtida no sensor PID-15 foi 20% maior que o valor de i obtido no sensor PID-16 no caso instável e em condições neutras o valor de i para o sensor PID-15 foi 45% que o valor de i encontrado no sensor PID-16. Este comportamento é devido a geometria complexa do obstáculo indicando que o escoamento reverso se forma no telhado na região onde se encontra o sensor PID-16 ($L_d/H_o = 2,37$). Esta região de recirculação se forma à montante da região onde se encontra o sensor PID-15 ($L_d/H_o = 3,03$).

Tab. 2. Intensidade das flutuações turbulentas de concentração.

LOCALIZAÇÃO	CASO INSTÁVEL		CASO NEUTRO	
	PID	I	PID	i
REGIÃO DO FLUXO INCIDENTE	1	1,852	1	1,158
	2	1,732	2	1,108
	3	1,708	3	1,347
			7	1,331
	13	2,170	13	1,967
	14	1,585	14	1,665
REGIÃO DE ESTEIRA PRÓXIMA	9	0,662	9	0,283
	10	0,641	10	0,266
	11	0,794	11	0,519
PAREDE LATERAL ESQUERDA	4	1,039	4	0,865
	5	1,213	5	0,847
	6	1,292	6	0,869
	7	1,103		
	8	1,148	8	0,834
PAREDE. LAT. DIREITA	12	2,836	12	1,526
TELHADO	15	1,676	15	1,503
	16	1,351	16	0,820

Os valores das intensidades turbulentas de concentração para os sensores PID-15 e PID-16 no caso instável foram respectivamente 10% e 39% maiores que os valores de i obtidos nos sensores PID-15 e PID-16 respectivamente no caso neutro. Portanto no telhado ocorre influência das condições de estabilidade atmosférica nos valores da intensidade turbulenta de concentração.

5. CONCLUSÕES

As concentrações “instantâneas” são uma característica do fenômeno da dispersão de poluentes, assim, em determinadas situações torna-se importante investigar o seu comportamento. Por exemplo, estimar os perigos associados aos lançamentos de gases tóxicos, inflamáveis e odoríficos.

Os gráficos das séries temporais amostrais de concentração, medidos em diferentes pontos na superfície de um obstáculo isolado de geometria complexa apresentaram um comportamento diferente.

Na região do fluxo incidente, os gráficos das séries temporais apresentaram episódios de concentração nula seguidos de muitos picos de concentração “instantânea”. Este comportamento pode ser atribuído as oscilações da direção do vento em escala de minutos a segundos devido às grandes escalas da turbulência atmosférica. De acordo com os estudos realizados por Higson et al. (1996), nesta região existem vórtices de escalas de comprimento maiores ou comparáveis ao tamanho da pluma em condições instáveis. Neste trabalho, este resultado também foi comprovado para o caso neutro.

Na região de esteira próxima os gráficos das séries temporais não apresentaram episódios em que as concentrações tenderam a zero, os resultados indicaram que não ocorreram diferenças significativas para as em condições neutras e instáveis e. Higson et al. (1996) chegaram a esta mesma conclusão para condições instáveis e estáveis. Pode-se observar através dos gráficos que na região de esteira próxima tem-se uma presença contínua de poluentes nos locais medidos resultando numa boa mistura de contaminantes.

Os valores da intensidade de flutuações de concentração tiveram maior influência das condições de estabilidade na superfície à montante, nas paredes laterais e no telhado, isto provavelmente está relacionado ao tamanho da região de separação e os altos níveis de turbulência que se forma nessas regiões. Porém,, mais pesquisas devem realizadas feitas para se determinar a influência da estratificação térmica no escoamento e dispersão nas proximidades de obstáculos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BROWN, S.T., *Concentration prediction for meandering plumes based on probability theory*, Atmospheric Environment 21, 1987, pp 1312-1330.
- GRIFFITHS, R.F. e MEGSON, L.C., *The effect on uncertainties in human toxic response on hazard range estimation for ammonia and chlorine*, Atmospheric Environment, 1984, vol. 18, pp. 1195-10206.
- HIGSON, H.L.; GRIFFITHS, R.F.; JONES, C.D.; BILTOFT, C., E., *Effect of atmospheric stability on concentration fluctuation and wake retention times for dispersion in the vicinity of an isolated building*, Environmetrics, 1996, vol. 6, pp. 571-581.
- HINDS, W.T., *Peak-to-mean concentration ratios from ground-level sources in building wakes*, Atmospheric Environment, 3, 1969, pp.145-156.
- HOSKER, R.P., *Methods for estimating wake flow and effluent dispersion near simple block-like building*, NOAA Technical Memorandum ERL ARL-108, 1981.
- JONES, C.D. e GRIFFITHS, R.F., *Full-Scale experiments on dispersion around an isolated building using an Ionised Air Tracer Technique with a very short averaging time*, Atmospheric Environment, 18, 1984, pp. 903-916.
- LI, W. e MERONEY, R.N., *Gas dispersion near a cubical model building. Part II.concentration fluctuation measurements*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1983, 12, pp. 35-17.
- MAVROIDIS, I. e GRIFFITHS, R.F., *Field and wind tunnel examination of the dispersion of atmospheric pollutants near a model building*, Air quality and pollution control, 1999, pp.476-484.
- OIKAWA, S. e MENG, Y., *A field study of diffusion around a model cube in a suburban area*, Boundary Layer Meteorology, 1997, vol. 84, pp.339-410.
- SAATHOFF, P.J., STATHOPOULOS T. e DOBRESCU, M., *Effects of Model Scale in Estimating Pollutant Dispersion near Buildings*, Journal of Wind Eng. Ind. Aero., 1995, vol.54/55, pp. 549-559.

- SANTOS, J.M., *Flow and dispersion around isolated building*, Tese de Ph.D. , Departamento de Engenharia Química da Universidade de Manchester, 2000.
- SANTOS, J.M., GRIFFITHS, R.F. , JONES, C.D. e HALL, D.J., *Wind flow and concentration fluctuation data around and obstacle: a field experiment work*, NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution, 1998, vol. 1, pp. 763-764.,,
- SNYDER, W.H., *Some Observations of the Influence of Stratification on Diffusion in Buildings Wakes*, In *Stably Stratified Flows – Flow and Dispersion over Topography* (Edited by I.P. Castro and N.J. Rockliff), Clarendon Press, 1994, pp.301-324.
- STROM, G.H., *Transport and Diffusion of Stack Effluent*, Air Pollution, Editor Stern C., Academic Press, 1976, vol. 1, pp. 401-501a.

REGINALDO ROSA COTTO DE PAULA
rcotto@bol.com.br
Centro Federal de Educação do Espírito Santo
CEFET – Vitória, ES
JANE MÉRI SANTOS
VALDÉRIO ANSELMO REISEN
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Universidade Federal do Espírito Santo
Vitória, ES, Brasil