

---

## QUALIDADE DO AR

# ANÁLISE DA DISPERSÃO DE CO, NO<sub>2</sub> E PTS EMITIDOS POR UM FRIGORÍFICO DA REGIÃO OESTE DO PARANÁ

**Micheli Ferreira** – michelilunkes@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Medianeira

**Silmar Antonio Lunkes** – silmarlunkes@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Medianeira

## 1. RESUMO

O estudo da qualidade do ar e da dispersão de poluentes são muito importantes, pois as emissões atmosféricas podem afetar diretamente a saúde da população local, regional e até mesmo da população global. Dessa forma, analisou-se as emissões de partículas totais em suspensão (PTS), monóxido de carbono (CO) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) emitidos por um frigorífico localizado na região oeste do Paraná, utilizando o modelo gaussiano, e verificou-se se as concentrações nas coordenadas escolhidas estavam dentro do permitido pela Resolução CONAMA n° 03 de 28/06/90, observando-se que em algumas coordenadas escolhidas para o poluente NO<sub>2</sub>, a concentração estava acima do padrão primário estabelecido pela referida resolução, sugerindo-se então, algumas propostas para o tratamento dessas emissões afim de não afetarem a saúde da população circunvizinha.

**Palavras-chave:** Emissões Atmosféricas, Concentração de Poluentes, Modelo Matemático.

## 2. OBJETIVO

A poluição do ar pode ser definida como a presença de um ou mais contaminantes na atmosfera, em quantidades e duração tais que sejam prejudiciais ao ser humano e ao meio ambiente (VIANELO; ALVES 1991).

Dentre os principais poluentes atmosféricos em gases de combustão, pode-se citar o material particulado (MP), o monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (dentre eles o NO<sub>2</sub>), entre outros (CARVALHO; LACAVA, 2003).

O dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) é um gás marrom avermelhado com odor forte e muito irritante. Pode formar ácido nítrico, nitratos e compostos orgânicos tóxicos. É gerado na combustão em veículos automotores, processos industriais em geral, usinas termoeletricas e incineração. Leva à formação da chuva ácida e a danos na vegetação (CETESB, 2009).

O monóxido de carbono (CO) é um gás incolor, inodoro, e insípido, gerado pela combustão incompleta. Em altas concentrações, afeta os reflexos humanos. Após sofrer oxidação completa gera o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), causador do aumento do efeito estufa. (LUCON, 2003). As principais fontes emissoras de CO são os veículos automotivos, aquecedores a óleo, queima de tabaco, churrasqueiras e fogões a gás (CETESB, 2009).

O material particulado é uma mistura de partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar, com tamanho inferior a 100 µm, suspensos na forma de poeira, neblina, aerossóis, fumaça

ou fuligem. (CETESB, 2009). Suas fontes principais são os processos industriais, exaustão de veículos motorizados, poeira de rua em suspensão e queima de biomassa. Leva ao desenvolvimento de doenças respiratórias e pulmonares (LUCON, 2003).

Segundo a CETESB (2009), o material particulado segue a seguinte classificação: Partículas Totais em Suspensão (PTS) que são definidas como aquelas cujo diâmetro é menor que 50  $\mu\text{m}$  e Partículas Inaláveis (MP10) que são definidas como aquelas cujo diâmetro é menor que 10  $\mu\text{m}$ .

Para Curbani e Radaeli (2006), dispersão atmosférica é um termo usado tecnicamente para definir o transporte turbulento de uma substância na atmosfera pelos fenômenos de transportes de convecção e difusão.

De acordo com Franco (2005), os modelos de dispersão são divididos em: modelos numéricos, modelos estatísticos, modelos físicos e modelos gaussianos.

Os modelos gaussianos são baseados numa equação simples que descreve um campo de concentração tridimensional, gerado por uma fonte pontual sobre condições de emissão e meteorológicas estacionárias, sendo utilizados para estimar impactos e concentrações de poluentes (FRANCO, 2005).

Dessa maneira, o objetivo desse trabalho é analisar as concentrações de PTS,  $\text{NO}_2$  e CO, em coordenadas/pontos pré-definidos, de um frigorífico localizado na região oeste do Paraná – Brasil, e defrontar com a legislação vigente que dispõe sobre os padrões de qualidade do ar, levando em consideração o padrão primário desses poluentes.

### **3. METODOLOGIA**

Nas imediações do frigorífico, que utiliza como combustível para as caldeiras, resíduos de beneficiamento de madeira florestais oriundos do corte raso dos reflorestamentos da região, foi calculado a concentração de  $\text{NO}_2$ , CO e PTS. Para tanto, utilizou-se o modelo gaussiano clássico ou Pasquill – Gifford. Nele a concentração média num ponto qualquer sobre o terreno, de coordenadas (x, y, z), resultante das emissões de uma fonte pontual, pode ser expressa pela equação abaixo:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi v \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left[ \exp\left(-\frac{(z - h_{ef})^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + h_{ef})^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad (1)$$

Onde:

$C(x, y, z)$ : concentração média do poluente, nos pontos  $(x, y, z)$  - ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )

$x$ : distância da fonte - (m)

$y$ : distância horizontal do eixo central da pluma - (m)

$z$ : distância acima do solo - (m)

$Q$ : vazão mássica de emissão - ( $\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$ )

$v$ : velocidade do vento na altura da chaminé - ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

$h_{ef}$ : altura efetiva da chaminé - (m)

$\sigma_y, \sigma_z$ : coeficientes de dispersão horizontal e vertical - (m)

Para efeito de cálculo, foram feitas algumas considerações: terreno onde se localiza o frigorífico plano, velocidade do vento unidirecional e constante, condições de turbulência atmosférica homogêneas e estacionárias.

Determinou-se as coordenadas  $(x, y, z)$  onde desejava-se obter as concentrações dos poluentes, sendo que antes de calcular as concentrações com a Equação (1), teve-se que determinar os coeficientes de dispersão horizontal e vertical.

Segundo Melo (2005), os coeficientes de dispersão foram parametrizados para seis classes de estabilidade (A a F) conforme mostra Tabela 1:

Tabela 1 – - Categoria de estabilidade de Pasquill

Velocidade do vento à 10 metros da Superfície	Período Diurno Radiação Solar			Período Noturno Grau de cobertura de Nuvens		Dia ou Noite Tempo Encoberto
	Forte	Moderada	Fraca	$\geq 4/8$	$\leq 3/8$	
$< 2$	A	A - B	B	-	-	D
$2 - 3$	A - B	B	C	E	F	D

3 – 5	B	B - C	C	D	E	D
5 – 6	C	C - D	D	D	D	D
≥ 6	C	D	D	D	D	D
A: Extremamente Instável B: Moderadamente Instável		C: Levemente Instável D: Neutra			E: Moderadamente Estável F: Levemente Estável	

Fonte: (FRANCO, 2005).

Com o auxílio de um anemômetro, nas dependências do frigorífico, foram feitas várias medidas da velocidade do vento a 10 metros do solo, sendo feito uma média aritmética dessas medidas. Essas medições foram feitas no período diurno, considerando-se uma radiação solar moderada. Assim, de acordo com a categoria de estabilidade atmosférica, pôde-se definir os coeficientes de dispersão como mostra a Tabela 2. Neste mesmo dia, com o auxílio de um termômetro, mediu-se a temperatura ambiente.

Tabela 2 - Parâmetros de dispersão URBANA

Categoria	$\sigma_y$	$\sigma_z$
A - B	$0,32.x.(1+0,0004.x)^{-0,5}$	$0,24.x.(1+0,001.x)^{-0,5}$
C	$0,22.x.(1+0,0004.x)^{-0,5}$	$0,20.x$
D	$0,16.x.(1+0,0004.x)^{-0,5}$	$0,14.x.(1+0,0003.x)^{-0,5}$
E - F	$0,11.x.(1+0,0004.x)^{-0,5}$	$0,08.x.(1+0,0015.x)^{-0,5}$

Fonte: (FRANCO, 2005).

Para o cálculo da concentração foi necessário obter a altura efetiva  $h_{ef}$  da chaminé, que de acordo com Melo (2005), é definida como a altura na qual a pluma torna-se passiva e passa a seguir o movimento do ar atmosférico, e é dada pela equação a seguir:

$$h_{ef} = h_g + \Delta h \quad (2)$$

Onde:

$h_g$ : altura real da chaminé - (m)

$\Delta h$ : ascensão da pluma - (m)

Para se obter  $\Delta h$  Melo (2005), cita alguns modelos, dentre eles está a formula de Division – Bryant:

$$\Delta h = d \left( \frac{v_s}{v} \right)^{1,4} * \left( 1 + \frac{\Delta T}{T_s} \right) \quad (3)$$

Onde:

$d$ : diâmetro interno da chaminé - (m)

$v_s$ : velocidade do poluente na saída da chaminé - (m.s<sup>-1</sup>)

$v$ : velocidade do vento na altura da chaminé - (m.s<sup>-1</sup>)

$\Delta T$ : temperatura do gás na chaminé menos a temp. ambiente ( $T_a$ ) - (K)

$T_s$ : temperatura do gás na chaminé - (K)

Para obter a velocidade do vento na altura da chaminé, Melo (2005) nos apresenta a seguinte equação:

$$v = v_{10} \left( \frac{h_g}{10} \right)^p \quad (4)$$

Onde:

$v_{10}$ : média da velocidade do vento a 10 metros de altura – (m.s<sup>-1</sup>)

$p$ : expoente escolhido de acordo com a estabilidade atmosférica

Para a escolha do expoente “p”, Melo (2005) nos apresenta uma tabela, conforme a Tabela 3, que o correlaciona de acordo com a classe da estabilidade atmosférica:

Tabela 3 - Expoente “p” versus Classes de estabilidade atmosférica

Classe de Estabilidade Atmosférica	Expoente “p”
A (muito instável)	0,10
B (moderadamente instável)	0,15
C (levemente instável)	0,20
D (neutro)	0,25

E (moderadamente estável)	0,25
F (muito estável)	0,30

Fonte: (FRANCO, 2005)

O frigorífico forneceu alguns dados necessários para realização do cálculo da concentração de NO<sub>2</sub>, CO e PTS: diâmetro interno da chaminé (d), altura real da chaminé (h<sub>g</sub>), temperatura dos gases na saída da chaminé ( $\Delta T + T_s$ ), vazão mássica de emissão (Q), velocidade do poluente na saída da chaminé (v<sub>s</sub>). Após, montou-se uma planilha no Excel para calcular as concentrações nas coordenadas escolhidas, plotou-se as informações em gráficos e posteriormente analisou-se os resultados.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados fornecidos pelo frigorífico estão contemplados na Tabela 4 e os coletados in loco na Tabela 5.

Tabela 4 - Parâmetros fornecidos pela indústria

Parâmetro	Valor
d	0,5 m
v <sub>s</sub>	5 m.s <sup>-1</sup>
T <sub>s</sub>	125°C
H <sub>g</sub>	30 m
Emissão de PTS	7,5 g.s <sup>-1</sup>
Emissão de CO	18,8 g.s <sup>-1</sup>
Emissão de NO <sub>2</sub>	27,8 g.s <sup>-1</sup>

Tabela 5 - Parâmetros coletados

Parâmetro	Valor
v <sub>10</sub>	8 m.s <sup>-1</sup>
T <sub>a</sub>	25°C

De acordo com a velocidade média do vento obtida a 10 metros da superfície, e considerando uma radiação solar moderada, obteve-se a estabilidade atmosférica, que de acordo com a Tabela 1, é neutra (D). Dessa maneira, utilizando a Tabela 2, pode-se obter os coeficientes  $\sigma_y$  e  $\sigma_z$  e com a Tabela 3, pode-se obter o expoente p. Assim,  $\sigma_y = 0,16.x.(1+0,0004.x)^{-0,5}$ ,  $\sigma_z = 0,14.x.(1+0,0003.x)^{-0,5}$  e  $p = 0,25$ .

Com todos os dados necessários obtidos, calculou-se primeiramente a velocidade do vento na altura da chaminé com o auxílio da Equação 4:

$$v = 8 \left( \frac{30}{10} \right)^{0,25} \rightarrow v = 10,5286 \text{ (m.s}^{-1}\text{)}$$

Após calculou-se a ascensão da pluma utilizando a Equação 3:

$$\Delta h = 0,5 \left( \frac{5}{10,5286} \right)^{1,4} * \left( 1 + \frac{125-25}{125} \right) \rightarrow \Delta h = 0,3201 \text{ m}$$

Em seguida calculou-se a altura efetiva da chaminé de acordo com a Equação 2:

$$h_{ef} = 30 + 0,3201 \rightarrow h_{ef} = 30,3201$$

Feito isso, utilizando a Equação 1, e com o auxílio do Excel pôde-se calcular a concentração, para cada um dos poluentes escolhidos, na altura do solo nas coordenadas escolhidas, conforme disposto no Gráfico 1, 2 e 3.

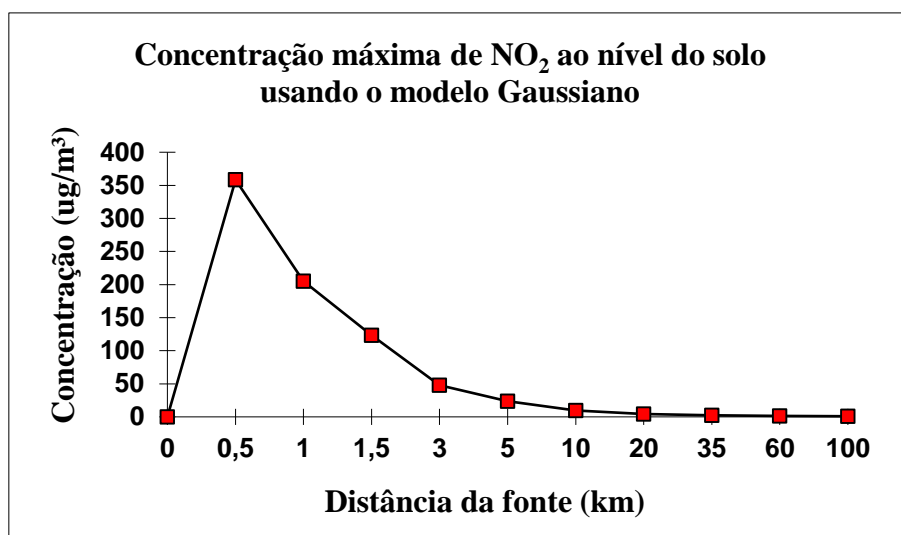


Gráfico 1: Concentração máxima de NO<sub>2</sub> ao nível do solo



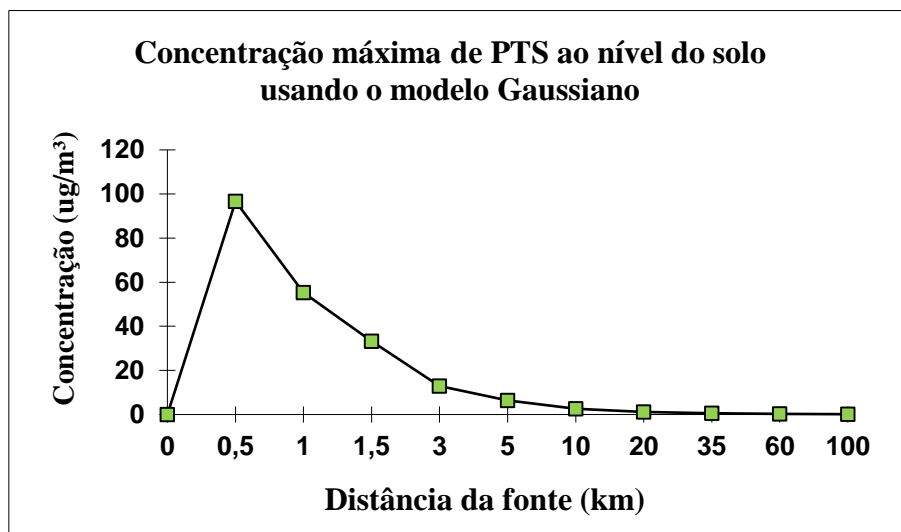


Gráfico 2: Concentração máxima de PTS ao nível do solo

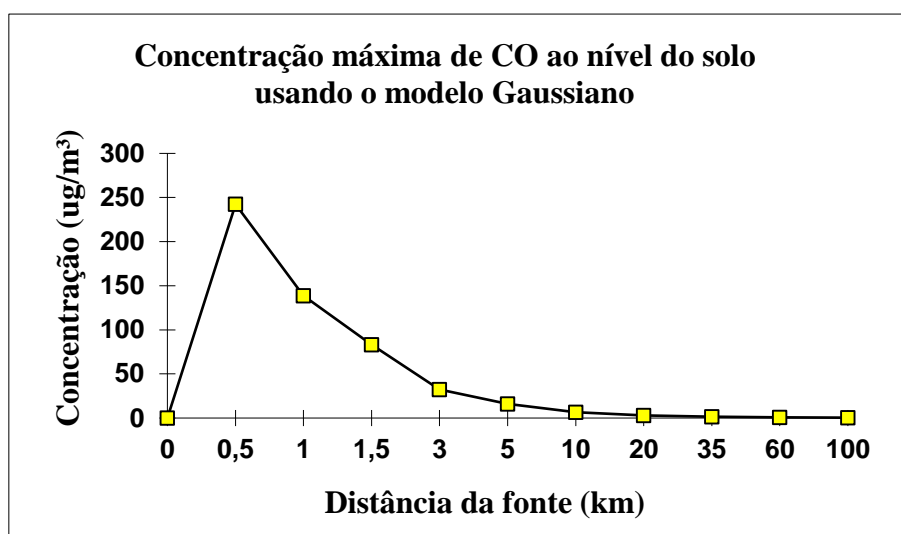


Gráfico 3: Concentração máxima de CO ao nível do solo

De acordo com a Resolução CONAMA n° 03 de 28/06/90, o padrão primário (em  $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) para PTS é de 240, para CO é de 40000 para um tempo de amostragem de 1 hora e de 10000 para um tempo de amostragem de 8 horas, e para o  $\text{NO}_2$  é de 320 para 1 hora de amostragem.

Analisando o Gráfico 1 e o Gráfico 2, e considerando que a pressão atmosférica onde se localiza o frigorífico é de 1 atm, pode-se observar que as concentrações de PTS e CO nas distâncias escolhidas, estão dentro dos limites aceitáveis definidos pela Resolução CONAMA

nº 03 de 28/06/90. Porém, analisando o Gráfico 3, observa-se que para o NO<sub>2</sub>, nas distâncias da fonte entre 400 e 600 metros, as concentrações extrapolaram o valor do padrão primário estipulados na referida resolução, assim sendo, podem afetar a saúde da população nessas distâncias.

## 5. CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Como o padrão primário para o NO<sub>2</sub>, nas distâncias entre 400 e 600 metros, foi ultrapassado, a população, nessas regiões, de acordo com a FEPAM (2016), pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis como crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas, podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.

Sendo assim, deve-se tomar algumas providências. Para uma remoção mais eficiente do NO<sub>2</sub>, o frigorífico pode optar por um lavador de gases, ou então por um conversor catalítico industrial para converter o NO<sub>2</sub> em um composto menos poluente ou não poluente. Em últimos casos, não havendo recursos financeiros para esse investimento nem outras alternativas viáveis, deve-se evacuar as pessoas de grupos sensíveis para áreas mais distantes do frigorífico.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO JR. J. A. de; LACAVA, P. T. **Emissões em processos de combustão**. São Paulo: Editora UNESP, 2003.

CETESB. São Paulo, 2009. Disponível em: <http://ar.cetesb.sp.gov.br/poluentes/>. Acesso em: 13 de abr. de 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 03 de 28 de junho de 1990**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>. Acesso em: 22 mar. 2017.

CURBANI, F.; RADAELI, L. A.; **Aplicação da modelagem da dispersão de poluentes na atmosfera para avaliação de situações de emergência relacionadas as emissões de agentes**

**químicos.** Monografia de Pós-Graduação. Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo, 2006.

FEPAM: Qualidade ambiental. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/iqar.asp>. Acesso em: 13 de abr. 2017.

FRANCO, N.J.N.; **Aplicações de um modelo de trajetórias na simulação de transportes de radionuclídeos na atmosfera.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

LUCON, O. dos S.; **Modelo Horus inventário de emissões de poluentes atmosféricos pela queima de combustíveis em indústrias no estado de São Paulo.** 2003. Tese (Pós-Graduação em Energia). Escola Politécnica, Faculdade de Economia e Administração, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003

MELO, H.L.; **Controle da poluição atmosférica.** Universidade Federal de educação e tecnologia de Santa Catarina, 2005.

VIANELO, R.L.; ALVES, A.R.; **Meteorologia básica e aplicações.** Ed. UFV, 1991.