



XXI Congresso Brasileiro  
de Engenharia Química

Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o  
Ensino de Engenharia Química  
Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro

# ESTIMATIVA DE CONCENTRAÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DE UM DISTRITO INDUSTRIAL

E.A.P. LIMA<sup>1</sup>, S.M. HOMAIED<sup>2</sup> e P.K.L. HOMAIED<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Uberaba, Programa de Mestrado em Engenharia Química e Curso de Engenharia Ambiental

<sup>2</sup> Faculdade Católica de Uberlândia, Curso de Especialização em Gestão Ambiental

<sup>3</sup> Faculdade Católica de Uberlândia, Curso de Graduação em Gestão Ambiental

E-mail para contato: euclides.lima@uniube.br

**RESUMO** – A cidade de Uberlândia MG é estratégica para o desenvolvimento de sua região, principalmente devido sua privilegiada localização, seja pelas malhas rodoviárias, ferroviárias ou aeroportuárias, o que proporcionou aumento nas instalações industriais. Associado ao crescimento ocorre também um significativo incremento na geração de poluentes, entre eles destacam-se as emissões atmosféricas. Os poluentes emitidos por fontes pontuais podem ser monitoradas por meio de amostragens isocinéticas, mas quando se trata de qualidade do ar em uma comunidade, torna-se difícil e onerosa a identificação da fonte emissora do mesmo. Uma forma de avaliação da contribuição de determinada fonte sobre a qualidade do ar pode ser com a utilização de modelos matemáticos. Com o uso de um modelo gaussiano de dispersão de poluentes, estimou-se a contribuição dos contaminantes de 48 fontes situadas no Distrito industrial. Os parâmetros estudados foram MP, SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub>, utilizando dados de amostragens isocinéticas. Os resultados encontrados demonstraram que as concentrações dos poluentes estão abaixo do limite máximo permitido, mas a direção predominante dos ventos favorece que a poluição atinja parte significativa da cidade. O modelo utilizado foi eficiente e de fácil operação, mas quando se trata de várias fontes ao mesmo tempo, deve-se utilizar a programação do visual basic, seguindo a mesma sistemática do modelo AID.

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo da poluição do ar e seu controle têm sido temas pesquisados extensivamente nas últimas décadas. Os resultados destes estudos são de grande importância na elaboração das políticas sustentáveis, na busca da preservação do meio ambiente.

O ar atmosférico é indispensável para ocorrência dos processos físico-químicos que por sua vez proporcionam o desenvolvimento da vida. A poluição do ar afeta de diversas formas o ecossistema, os materiais e a saúde humana (CETESB, 2007). Os principais parâmetros estudados são

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO





XXI Congresso Brasileiro  
de Engenharia Química

Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o  
Ensino de Engenharia Química  
Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro

os materiais particulados totais e respiráveis, monóxido de carbono, dióxido de enxofre e nitrogênio, fumaça e ozônio (CONAMA 03, 1990), esses parâmetros possuem uma importância significativa para garantia da saúde dos seres humanos e ao meio ambiente.

Segundo Amorim (2004), a poluição atmosférica é um problema comprovado nos grandes centros urbanos e cada vez mais se estende para regiões em expansão populacional e industrial. Os planejamentos urbanos levam em consideração a malha viária, desta forma favorecem mais a mobilidade dos veículos do que a da população, isso provoca uma redução da qualidade de vida das pessoas sob vários aspectos.

Uberlândia é uma das microrregiões do estado de Minas Gerais pertencente a mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. A população de Uberlândia foi estimada em 662.362 habitantes, sua frota veicular está na ordem de 412.912 veículos, correspondendo a 1,6 habitantes por veículo, IBGE (2016).

Os órgãos ambientais de Minas Gerais estão incentivando os empreendimentos potencialmente poluidores apresentarem voluntariamente seus dados sobre os gases do efeito estufa (GEE). De forma geral, também solicita durante o processo de regularização ambiental, os dados dos monitoramentos atmosféricos, na forma de condicionantes do processo de licenciamento. Com isso, Minas Gerais está organizando um banco de dados que certamente contribuirá para os estudos da qualidade do ar da regiões do estado.

Uma das motivações para realização deste estudo foi a necessidade da identificação da contribuição das fontes poluidoras localizadas no distrito industrial de Uberlândia, na concentração dos poluentes a montante do mesmo, na direção predominante dos ventos. Lima (2007), apresentou dados que demonstram que a direção predominante dos ventos da região é a nordeste. Como o distrito industrial fica situado na região norte, parte dos poluentes lançados pelas indústrias são depositados nas vias públicas, residências e sobre a vegetação de grande parte da cidade.

O estudo quantitativo dos poluentes no ponto receptor é muito mais oneroso e difícil de se obter, por isso o uso de modelagem matemática, associado aos dados das fontes pontuais, obrigatórias pelo órgão ambiental, pode proporcionar um entendimento de uma série de transformações e problemas que surgiram nos últimos tempos em determinadas regiões da cidade.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Poluição Atmosférica

A poluição do ar segundo a Resolução CONAMA 03, (1990), é definida como o resultado da alteração das características físicas, químicas ou biológicas normais da atmosfera, de forma a causar danos aos seres humanos, à fauna, à flora aos materiais ou restringir o pleno uso e gozo da propriedade, ou afetar negativamente o bem estar da população.

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO





XXI Congresso Brasileiro  
de Engenharia Química

Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o  
Ensino de Engenharia Química  
Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro

## 2.2 Padrões de qualidade do ar

São considerados padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral (CONAMA 03, 1990). De acordo com o Artigo 2º da mesma Resolução, padrão primário de qualidade do ar, são concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Já os secundários, são concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, a flora e aos materiais e ao meio ambiente em geral. A competência para determinar se uma área deve ser enquadrada de acordo com o padrão primário ou secundário é do estado. Então o Artigo 7º estabelece que enquanto os estados não estabelecem suas áreas, prevalece em vigor o padrão primário, que é menos restritivo.

Apesar da CONAMA 03, (1990) estabelecer os limites máximos permitidos para material particulado total (PTS) e respirável (menores que 10 micrometros – MP<sub>10</sub>), fumaça, dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e nitrogênio (NO<sub>2</sub>), ozônio e monóxido de carbono (CO), eles são fixados apenas como estratégia de controle, para fins de orientação para elaboração dos planos regionais de controle de poluição do ar. Apresenta ainda os limites máximos permitidos para partículas totais em suspensão, sendo para o padrão primário diário, a concentração de 240 micrograma por metro cúbico, para o dióxido de enxofre, nas mesmas condições, 365 micrograma por metro cúbico, já para o dióxido de nitrogênio, a média é para 1 hora, com valor máximo de 320 micrograma por metro cúbico.

## 2.3 Amostragens Isocinéticas

Amostragem isocinética pode ser entendida como amostragens realizada succionando-se o material particulado e os gases de uma fonte por meio de um sistema onde a velocidade de sucção seja a mesma da saída da fonte. Para tanto, uma verificação prévia deve ser feita na fonte, avaliando-se diversos parâmetros, tais como a altura, diâmetro, umidade dos gases, pressões dinâmica e estática, ainda deve-se medir a pressão barométrica local. Deve-se adotar diversas legislações para execução deste tipo de amostragem, que podem variar de estado para estado. A maioria dos estados brasileiros adotam as normas da ABNT para realização das amostragens, mas no entanto, no estado de São Paulo existe legislação própria.

## 2.2 Estudos de Dispersão Atmosféricas

Após a geração e emissão dos poluentes para a atmosfera, ocorre o transporte dos mesmos, que são altamente influenciados pelas condições meteorológicas e do relevo, em seguida, os poluentes chegam a um receptor, que podem ser os vegetais, animais, materiais e o próprio homem. De maneira geral, pode-se dizer que a recepção tem potencial para provocar danos ao ser humano, a fauna, flora e ao meio ambiente (KAWANO, 2003).

Uma forma de estudar a dispersão dos poluentes é utilizando modelagem. A modelagem é uma ferramenta essencial para esses estudos, os modelos geralmente são divididos em físicos, que são construídos em pequena escala, mas que representam o fenômeno estudado com boa precisão (escala

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO



de laboratórios), evidenciam mecanismos e geram dados para validação de modelos matemáticos, e que por sua vez constituem-se de um conjunto de algoritmos numéricos/análíticos, com o objetivo de descrever os aspectos físicos e químicos do problema (KAWANO, 2003).

Existem diversos tipos de *softwares* disponíveis para utilização, inclusive alguns de forma livre na internet. Alguns dos mais utilizados são ISC3 (*Industrial Source Complex*), CTDMPLUS (*Coplex Terrain Dispersion*), UK-ADMS (*United Kingdom Meteorological Office Atmospheric Dispersion Modeling System*), PLUME 5 (desenvolvido pela *Pacific Gas & Electric Co.*, San Ramon, Calif.). Um exemplo de modelo de dispersão disponível é o modelo AID (Avaliação Instantânea da Dispersão), cujos cálculos levam em consideração as equações gaussianas, (KAWANO, 2003).

Segundo Lora (2002), a equação da teoria estatística de Gauss é uma solução analítica simplificada da equação básica da difusão. Nessa teoria o eixo das abscissas coincide com a direção do percurso da pluma (direção principal do vento). Nessa teoria, quando observa-se os planos horizontal e vertical, nota-se que a concentração dos contaminantes cumpre a distribuição estatística de Gauss (sino de Gauss), justificando a origem do nome desta teoria.

Algumas considerações são relevantes no estudo do modelo Gaussiano, a pluma, viaja com velocidade constante, igual à do vento e na mesma direção. As dimensões da pluma são descritas por meio de coeficientes de dispersão  $\sigma$  ( $\sigma_y$  – determina a expansão vertical da pluma e  $\sigma_z$  – determina a expansão horizontal da pluma). A emissão de contaminantes ocorre a partir de uma fonte pontual a uma taxa constante. Não ocorre deposição ou reação da pluma na superfície, ou seja, a reflexão da pluma é total na superfície da terra. A Equação 1 apresenta a equação principal da dispersão, de acordo com a teoria estatística de Gauss (LORA, 2002).

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

Onde: C = concentração do contaminante em qualquer ponto de coordenadas (x, y, z), g/m<sup>3</sup>.

Q = emissão, g/s.

H = altura efetiva, m.

$\sigma_z$  e  $\sigma_y$  = coeficientes de dispersão vertical e horizontal, m.

## 2.3 Modelo de Avaliação Instantânea da Dispersão – AID - (KAWANO, 2003).

O modelo AID foi desenvolvido considerando as equações gaussianas para emissões contínuas e instantâneas (*puff*). Ele é de fácil aplicação e pode ser utilizado para verificação de dispersão de poluentes provenientes de fontes fixas. Ele apresenta duas opções para os cálculos de elevação da pluma, sendo uma utilizando as equações de Holland e outra de Briggs.



XXI Congresso Brasileiro  
de Engenharia Química

Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o  
Ensino de Engenharia Química  
Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro

O modelo AID é de fácil operação, pois é feito em Excel-2000, utiliza a ferramenta *Visual Basic*, possui como vantagem a interface gráfica. Disponibiliza orientações ao usuário, pode ser utilizado para o estudo de gases leves com densidade igual ou inferior ao ar, aplicação para terrenos planos não complexos, coordenadas polares para direção do vento e posição do receptor. Proporciona a simulação instantânea das concentrações, tem como saída resultados na forma gráfica com curvas de isoconcentrações, além fornecer informações sobre padrões de qualidade do ar, características e efeitos de alguns poluentes emitidos por fontes fixas.

O programa foi validado comparando os resultados do modelo com cálculos realizados manualmente, foram feitos ajustes necessários de acordo com o modelo Gaussiano. A validação seguiu ainda os conceitos utilizados por De Melo Lisboa (1996), que utilizou a base de dados *Prairie Grass Experiment*, descrita por Barad (1958), apud Kawano, (2003).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo foi delimitada de acordo com a disponibilidade de dados de poluentes atmosféricos na região do distrito industrial de Uberlândia- Minas Gerais.

Foram utilizados os resultados dos monitoramentos atmosféricos realizados pelas empresas Powdertech Serviços e Consultoria Ltda e QSE Consultoria Ambiental Ltda. Usou-se também dados fornecidos pelas empresas da região do estudo. Os métodos utilizados para realização das amostragens foram de acordo com as normas da ABNT e CETESB para amostragens isocinéticas. Após a tabulação dos dados das amostragens atmosféricas, utilizou-se o modelo matemático AID (Avaliação Instantânea da Dispersão), O modelo apresenta os resultados na forma de tabelas e mapas com isoconcentrações (médias de 10 minutos), elaborado por Kawano (2003).

O programa utilizado (AID), fornece os resultados para cada fonte individualmente. Então para efetuar os cálculos foram inseridos os dados de cada fonte individualmente no programa. Adotou-se posteriormente um ponto médio na área de estudo e considerou-se que todos os lançamentos de poluentes foram do referido ponto. Com isso, os resultados foram calculados considerando que o receptor dos poluentes estavam a distâncias de 1, 3 e 6 quilômetros, nas direções a montante do ponto médio de lançamento, em relação a direção predominante dos ventos. Para a elaboração dos mapas finais de isoconcentrações (MP, SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub>), considerou-se os valores médios dos dados iniciais, assim pode-se apresentar apenas um mapa geral e não 48 (nº de fontes) individuais.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Delimitação da Área de Estudo

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO





A Figura 1 apresenta a área delimitada objeto deste estudo, bem como o ponto médio adotado e os pontos considerados receptores de poluentes.



Figura 1 – Delimitação da área de estudo - Fonte: Google, 2016.

Como pode ser visto na Figura 1, o ponto 1 está localizado a sudeste do ponto médio em relação a direção predominante dos ventos (que é nordeste) a uma distância de 6 km. O ponto 2 está ao sul e também distante 6 km. Já os pontos 3, 4 e 5 estão a sudoeste do ponto médio, distantes 6, 3 e 1 km, respectivamente.

#### 4.1 Dados Das Amostragens Atmosféricas

Para realização dos cálculos, foram adquiridos dados de 48 fontes de poluição distribuídas na área de estudo. Os dados utilizados basicamente foram os da parte física da chaminé, diâmetro e altura física, temperatura e velocidade dos gases, concentração e taxa dos poluentes. Os dados foram tabulados e posteriormente inseridos no AID, fonte por fonte, ponto receptor por ponto receptor.

Utilizando o programa AID, foram inseridos os dados de entrada para cada fonte individualmente, tendo como receptores os pontos distantes do ponto médio 1, 3 e 6 quilômetros, em todas as direções. Para melhor visualização, foram apresentados apenas os resultados para os pontos de 1 a 5 (Figura 1). Em todas as direções a jusante do ponto médio em relação a direção predominante dos ventos. A Tabela 1 apresenta os resultados de concentrações de material particulado, dióxido de enxofre e de nitrogênio. Os resultados são provenientes dos cálculos no programa AID, nos pontos 3, 4 e 5, bem como os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/90 e a comparação entre eles.

Tabela 1 – Resultados de concentração de poluentes – Modelagem usando AID

| RESULTADOS DE CONCENTRAÇÕES DE POLUENTES |   |                            |                                   |                 |                            |                                   |                 |                         |                                   |
|--|---|----------------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|
| PONTO                                    | Concentração ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |                            |                                   |                 |                            |                                   |                 |                         |                                   |
|  | MP  |                            |                                   | SO <sub>2</sub> |                            |                                   | NO <sub>2</sub> |                         |                                   |
|  | RESULTADO AID                             | * CONAMA 03/90 (24 horas.) | COMPARAÇÃO                        | RESULTADO AID   | * CONAMA 03/90 (24 horas.) | COMPARAÇÃO                        | RESULTADO AID   | * CONAMA 03/90 (1 hora) | COMPARAÇÃO                        |
| 1  | 0   | 240 (padrão primário)      | Abaixo do limite máximo permitido | 0               | 365 (padrão primário)      | Abaixo do limite máximo permitido | 0               | 320 (padrão primário)   | Abaixo do limite máximo permitido |
| 2  | 0   |                            |                                   | 0               |                            |                                   | 0               |                         |                                   |
| 3  | 12,48                                     |                            |                                   | 21,40           |                            |                                   | 0,02            |                         |                                   |
| 4  | 30,75                                     |                            |                                   | 52,74           |                            |                                   | 0,04            |                         |                                   |
| 5  | 130,53                                    |                            |                                   | 223,84          |                            |                                   | 0,18            |                         |                                   |

Como pode ser visto na Tabela 1, os resultados obtidos para os pontos 1 e 2, não foram significativos (zero) em função de sua localização. Já os pontos 3, 4 e 5, que estão posicionados a sudoeste da direção predominante dos ventos (nordeste), tiveram resultados significativos, destacando-se o ponto 5 (distância de 1 Km), para todos os parâmetros estudados. Porém, nenhum resultado ultrapassou o valor máximo permitido pela Resolução CONAMA 03/90.

Ao observar a Figura 2, pode-se verificar os resultados das concentrações de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e MP.

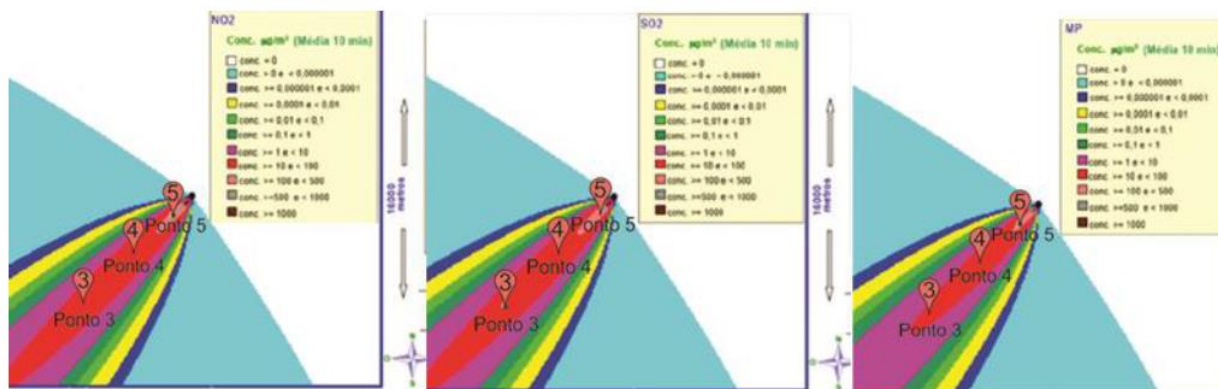


Figura 2 – Resultados da estimativa de concentração de SO<sub>2</sub> – Adaptado de AID.

## 5. CONCLUSÕES

Este estudo proporcionou o cálculo da estimativa de concentração dos poluentes atmosféricos, MP, SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub>, utilizando os dados de amostragens isocinéticas e o modelo AID e ainda realizar a comparação com os padrões estabelecidos pela CONAMA 03, (1990). Os resultados encontrados não ultrapassaram os limites máximos permitidos pela legislação.



XXI Congresso Brasileiro  
de Engenharia Química

Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o  
Ensino de Engenharia Química  
Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro

O modelo AID, utilizado neste trabalho demonstrou facilidade na sua operação, principalmente em função da confecção de gráficos que demonstram as curvas de isoconcentração.

Para utilização de muitas fontes ao mesmo tempo, e melhor utilizar a ferramenta *Visual Basic* diretamente. Para isso, deverá ser feita uma programação específica para caso em estudo, visando a obtenção dos resultados.

## 6. BIBLIOGRAFIA

AMORIM, W. B., Monitoramento da Concentração e Caracterização de Material Particulado Suspenso na Atmosfera. Campinas, 165 p., SP. 2004,

BARAD, M.L., Project Prairie Grass. A Field Program in Diffusion. Geophys. Res. Paper 59, vol I e II, Air Force Cambridge Research Center, Bedford, MA, USA, 1958

CETESB, Relatório da Qualidade do ar no Estado de São Paulo, 2006. São Paulo. CETESB 2007, 167p. Disponível na internet: <http://www.cetesb.sp.gov.br>

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº. 03 de 28/06/90. s.n.t.

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

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, 2016. Disponível na internet <http://www.ibge.gov.br>.

KAWANO M. Desenvolvimento, Validação e Aplicação de um Modelo Matemático para Dispersão de Poluentes Atmosféricos. Dissertação de Mestrado, 198 p., Florianópolis S.C., 2003.

LIMA E. A. P. Um Estudo Sobre a Qualidade do Ar de Uberlândia: Material Particulado em Suspensão. Tese de Doutorado, 148p., Uberlândia MG. 2007.

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG pelo suporte dado à apresentação deste trabalho no COBEQ 2016.

PROMOÇÃO



REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO

