

Modelagem da dispersão atmosférica dos poluentes empregando o modelo de dispersão gaussiano

Gabriel Valenzuela Saavedra¹

¹ Universidade Federal de Goiás – UFG/IESA
Caixa Postal 131 - 74001-970 - Goiânia - GO, Brasil
valenzuelasg@gmail.com

Abstract. Air pollution is still a problem in many countries around the world. The last report of air quality coming from world health organization (WHO) inform that too many cities in Brazil still have their parameters of air pollution above the WHO criteria. This paper talks about air pollution and, more specifically, describes how the pollutants are distributing near the emission source before their totally dispersion into air. The reader can find a presentation in a small scale of an atmospheric dispersion model, therefore, it will be used for the Gaussian air pollutant dispersion equation with a diesel generator as an emission source, located on the Campus Samambaia of the Federal University of Goiás. Just for the explanation of the methodology, there will be use of NO_x for pollutant emission rate and its dispersion. In addition, explanations about how to calculate emissions rates and which are the variables that needs to apply the Gaussian dispersion model like the wind data pre-process. The results are maps on how it represents different atmospheric conditions and the dispersion of the pollutants from the emission source. The graphic presentations are legible to identify who or where will be affected by the pollutants of the emission source, as well as what is the magnitude of these effects.

Palavras-chave: Air pollution, atmospheric dispersion models, air quality, poluição do ar, atmosférica, qualidade do ar, modelização de dispersão atmosférica.

1. Introdução

A qualidade do ar reflete diretamente na saúde e qualidade de vida da população. Nas cidades, a qualidade do ar vai depender das características geográficas, principalmente do clima, do relevo, e das atividades econômicas ligadas à cidade. Quando a natureza geográfica de uma cidade é favorável para a depuração do ar, dificilmente vai apresentar episódios críticos de qualidade do ar. Quando não, é preciso ter atenção nas fontes poluentes e nas condições atmosféricas.

Segundo a Organização mundial da saúde (2014), a poluição atmosférica representa um risco para a saúde da população, sua diminuição pode reduzir a morbidade atribuível a acidentes vasculares cerebrais, câncer de pulmão e pneumopatia crônicas e agudas. Para garantir uma qualidade do ar aceitável, segundo os padrões nacionais e internacionais, existem diversos mecanismos de prevenção. Estes são instrumentos de gestão, como leis que regulam as emissões à atmosfera, inventários das emissões, tecnologias para controle de emissões, sistemas de informação, planejamento territorial, fiscalização, entre outros.

Dentro dos mecanismos de prevenção, uma ferramenta útil para o planejamento territorial é a modelagem de dispersão dos poluentes. Fisicamente, a dispersão é a propagação dos contaminantes em relação ao sistema onde se encontra. Segundo Davis (2008), a dispersão vai depender de diversos fatores como: propriedades físicas e químicas do poluente, características meteorológicas do ambiente, terreno pelo qual se transporta e difunde, e as características da fonte de emissão.

A modelagem de dispersão de poluentes atmosféricos é um método útil para conhecer os alcances e a distribuição espacial das concentrações de poluente, provenientes de uma ou várias fontes emissoras específicas. Utiliza-se as vareáveis anteriormente mencionadas, para supor quais espaços são mais afetados pela fonte de emissão.

Atualmente, tanto a EPA (*Environmental Protection Agency*) como a EEA (*Environment European Agency*) reconhecem e difundem uma grande quantidade de modelos, cada modelo funciona diferente e possibilitam construir uma modelação segundo a disposição de dados e *softwares* de processamento.

Segundo Moraes apud Tadano et. al (2010), os modelos de dispersão atmosférica podem ser divididos em duas classes principais, os Eulerianos, que utilizam soluções da equação advecção-difusão em um sistema de referência fixo em relação à Terra, e os Lagrangeanos que simulam as trajetórias das partículas de poluentes em um sistema de referência que se desloca de acordo com o movimento das partículas. Existem ainda os chamados modelos Gaussianos, que podem ser considerados como uma subclasse dos anteriores. Os modelos de pluma Gaussianos são limitados, pois consideram vento constante e turbulência homogênea. Essas condições são dificilmente encontradas na camada limite planetária. Por isso, sua principal aplicação é para fins regulatórios.

Para o processamento dos distintos modelos, existem diversos *softwares* específicos para obter resultados confiáveis. Lamentavelmente esses *softwares* são custosos. Por tanto, a modelagem gaussiana se transforma em uma alternativa de baixo custo para conhecer a susceptibilidade de acumular poluentes nas áreas próximas à fonte.

A importância de conhecer o comportamento dos poluentes na atmosfera vai em conjunto com o desenvolvimento urbano. O aumento das fontes poluidoras e a concentração urbana, tornam preocupante a manutenção da qualidade do ar em favor da qualidade de vida e a saúde da população. A modelagem é a ferramenta adequada para conhecer os impactos que produz a fonte sobre seu entorno imediato.

Assim, este estudo tem como objetivo aplicar um método de dispersão atmosférica, por meio do modelo gaussiano de dispersão fornecido por Connolly (2014). Busca-se identificar como se distribui no espaço a emissão proveniente de fontes fixas e assim propor um instrumento de gestão para a manutenção da qualidade do ar.

Como estudo experimental e para apresentar a modelagem, será feito um estudo de caso com um moto gerador dentro da UFG. Se gerara o alcance das concentrações de NOx que emite tal gerador, segundo os dados de dezembro de 2015 e agosto de 2016.

2. Metodologia

2.1. Materiais

1. Dados meteorológicos da estação automática de Goiânia. Dados devem ser por hora e a estação mais próxima da fonte de emissão. Fonte: INMET.
2. *WRPLOT view freeware 7.0* para o processamento dos dados meteorológicos.
3. Registro de abastecimento de diesel da fonte de emissão para estimação da taxa de emissão. Fonte: CEGEF/UFG.
4. Extensão de arquivos de linguagem de programação *Objective-C* com a equação programada. Fonte: Connolly, 2014.
5. *MATLAB 7.3* para programar a equação e geração gráfica.
6. Imagens de satélite da localização da fonte de emissão. Fonte: *Google maps*.
7. *ArcMap 10.3* para o georreferenciamento.

2.2. Modelo de dispersão gaussiano

A modelagem de dispersão se utiliza para conhecer a variação da concentração dos poluentes no espaço. Segundo Davis (2008), o modelo de dispersão gaussiano é baseado nas suposições: velocidade e direção do vento constante, o poluente permanece na atmosfera sem reagir nem existe deposição pela chuva ou partículas, finalmente a dispersão pode se explicar como uma distribuição de Gauss.

A equação do modelo de pluma gaussiana (Equação 1) é a seguinte:

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

C= Concentração em algum ponto no espaço com coordenadas x, y e z [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Q= Taxa de emissão [g/s]

u= Velocidade do vento [m/s]

y= Distancia lateral desde a fonte ao ponto de interesse [m]

z= altura do ponto de interesse (0 para nível de solo)[m]

H= Altura da chaminé, incluso altura da pluma [m]

σ_y , σ_z = Desvio padrão da direção y e z respectivamente segundo a estabilidade atmosférica

A equação inclui a utilização da classificação de estabilidade atmosférica (Tabela 1) segundo a curva de Pasquill-Gifford apud Turner (1969) cujos coeficientes vão refletir no desvio padrão. A estabilidade atmosférica é classificada em:

Tabela 1. Classificação de estabilidade atmosférica. Fonte: Seinfeld e Pandis (2006).

| Classificação | Estabilidade |
|---------------|------------------------|
| A | Muito instável |
| B | Instabilidade moderada |
| C | Pouca instabilidade |
| D | Neutral |
| E | Estabilidade moderada |
| F | Muito estável |

O desenvolvimento tecnológico da atualidade permite resolver a equação em pouco tempo. Para modelar é preciso um *software* de linguagem *objective-c* como *MATLAB*, *OCTAVE* ou *SCILAB*. Através desses *softwares*, se programa e processam os dados da equação permitindo modificar dados segundo a aplicação requerida. Os resultados são apresentados graficamente.

Os principais dados que precisam-se para fazer a modelagem são:

- Taxa de emissão: Corresponde a uma metodologia EPA. Usa-se uma estimacão segundo as propriedades da fonte, seu consumo de combustível e fatores de emissão previamente estipulados. No caso, se utilizaram os dados de consumo de combustível do período estabelecido para este estudo;
- Predominância e velocidade do vento: É preciso um pré-processamento dos dados meteorológicos da velocidade e predominância do vento. Para isto se utiliza *software* de análises de ventos;
- Localização da fonte emissora e sua altura.

2.3. Processamento

O processamento pode ser dividido em 3 etapas. A primeira etapa é de identificação, localização e cálculo da taxa de emissão da fonte. Segunda etapa é o processamento dos dados dos ventos. Na etapa final se geram os resultados do modelo e se georreferenciam os resultados.

Primeiro corresponde identificar a fonte poluidora e seu nível de emissão. No caso, usou-se um grupo gerador diesel dentro do campus samambaia da universidade federal de Goiás.

Os geradores trabalham como apoio ou emergência nos diferentes prédios do campus, em total existem 17 geradores. O gerador escolhido fica ligado à rede do centro de eventos, próximo ao centro de convivência. No centro de convivência ficam bancos e o correio. O gerador foi escolhido exclusivamente para apresentação da metodologia.

Para conhecer a taxa de emissão da fonte poluidora é preciso conhecer a quantidade de combustível que utiliza por unidade do tempo. A metodologia para estimar as emissões usa fatores de emissão. Segundo CONAMA (2009), os fatores de emissão são a média de resultados das amostragens das emissões de uma diversidade ampla de fontes de distintas tecnologias de combustão, antiguidade, qualidade do combustível e tamanhos, para assim, ser representativos

da grande variedade de fontes que usam um mesmo combustível. Esta metodologia também é usada para a declaração das emissões e gerar um inventário de emissões para a gestão e controle das emissões. Existem fatores de emissão para os principais poluentes atmosféricos. Os fatores de emissão são avaliados e publicados pela EPA intitulado “AP 42”.

Os dados dos geradores foram informados pela pró-reitoria de administração e finanças e pelo Centro de gestão do espaço físico. Entre dezembro do 2015 até agosto do 2016, o gerador precisa de 700 lts de óleo diesel, abastecidos apenas nos meses de janeiro e fevereiro.

Fonte: Grupo gerador diesel

Marca: Cummins

Potencia: 625KVA

Combustível: diesel

Densidade do diesel: 0,84 kg/lit

Consumo de combustível(NA): 700 lt/ano = 588 kg/ano

Fator de emissão para NO_x (FE): 0,0801 kg/kg diesel¹

$$\text{Emissão} = \text{FE} * \text{NA} = 47,0988 \text{ kg/ano} = 0,0014934931507 \text{ g/s}$$

Para apresentar a distribuição espacial das concentrações de poluentes emitidas pela fonte, foram gerados cenários que representassem as diferentes condições atmosféricas. O vento pode ser constante, flutuante ou prevalente e a estabilidade atmosférica pode ser da A-F segundo a tabela 1. Os dados meteorológicos serão correspondentes aos meses de dezembro de 2015 até agosto de 2016. Para determinar a orientação da modelagem, os dados dos ventos foram processados de acordo com a metodologia proposta (figura 1).

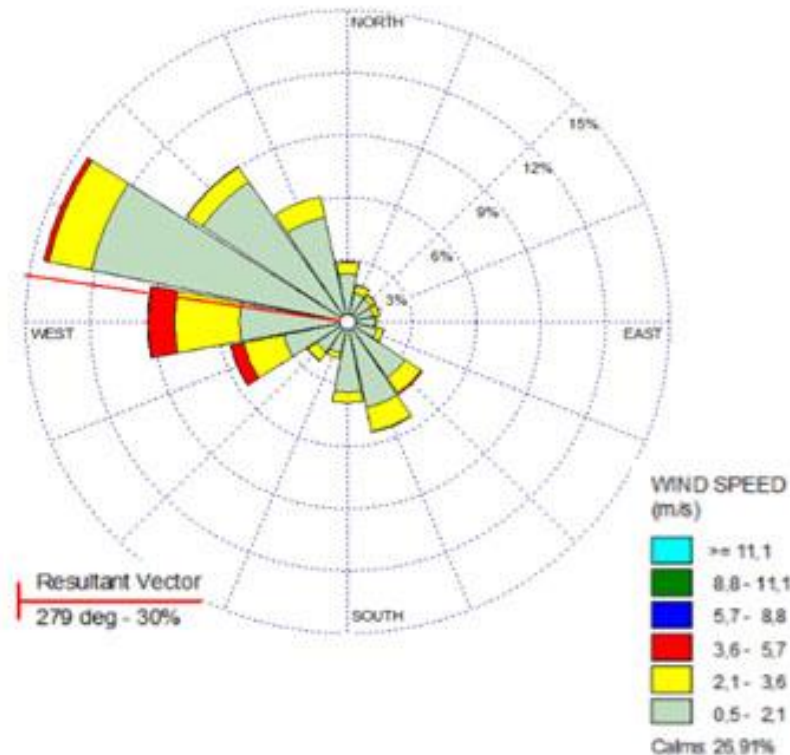


Figura 1. Rosa dos ventos

¹ Guia metodológica para la estimacion de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes.

O processamento da figura 1 foi feito com os dados meteorológicos horários do 16-12-15 até 15-08-16, em total 5856 registros e velocidade média dos ventos de 1,13 m/s. A imagem mostra a distribuição da direção do fluxo dos ventos (%) e da velocidade (cores), também mostra a direção predominante do fluxo do vento(279°).

Os dados de entrada para a equação da modelagem são:

Período:16-12-15 até 15-08-16. 244 dias.

Estabilidade atmosférica: “A” (muito instável), “D” (Neutral) e “F” (muito estável).

Direção de vento: Constante, flutuante e prevalente. A orientação da modelagem vai ser na direção do vento predominante no gráfico do vento (figura 1) 279°.

Velocidade do vento: 1,13 m/s (média)

Taxa de emissão: 0,0014934931507 g/s

Altura da chaminé: 2,3 M

3. Resultados

3.1. Vento direção constante

Os ventos constantes vão transportar os poluentes na direção do vento predominante sempre que o vento constante tenha essa direção predominante (279°). Quando a atmosfera se mantém muito instável, o trajeto dos poluentes e a sua dispersão vai se produzir no curto alcance (figura 2). Quando há estabilidade os poluentes vão se manter concentrados e vão ser transportados distâncias mais longas.

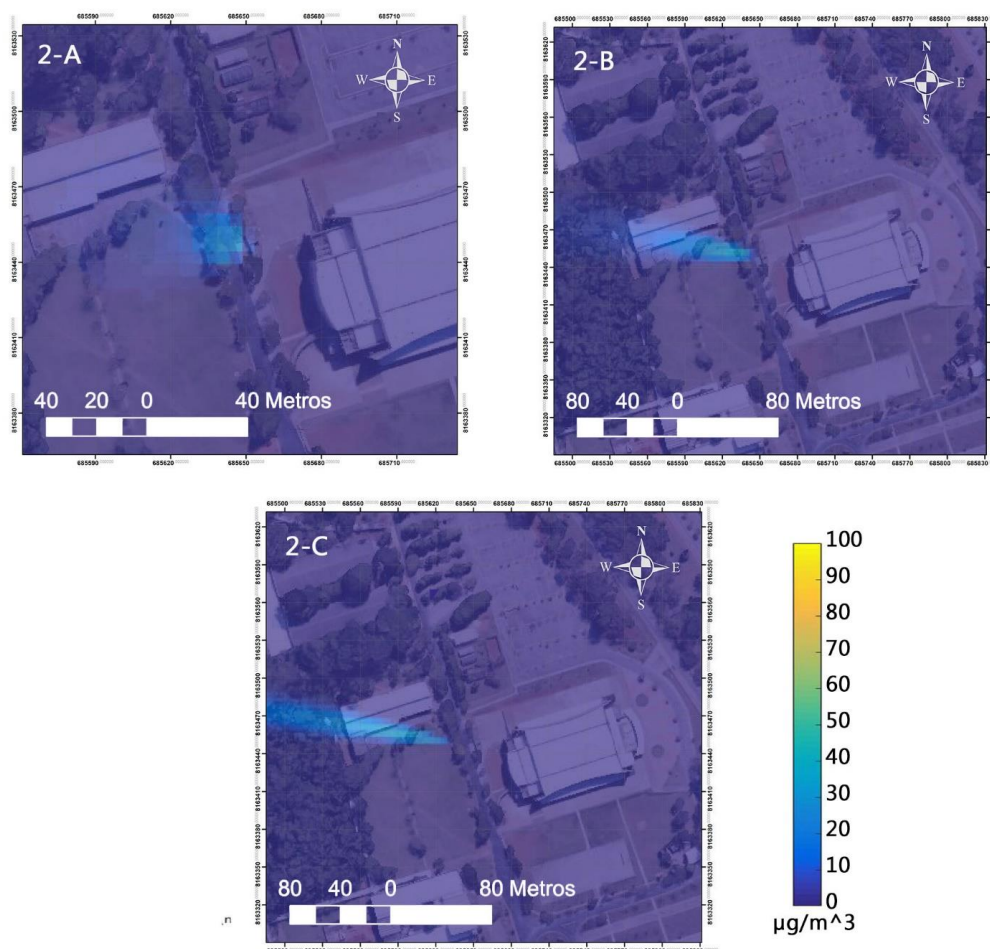


Figura 2. Dispersão de NOx com vento constante: atmosfera muito instável (2-A), atmosfera neutra (2-B) e atmosfera muito estável (2-C).

3.2. Vento direção flutuante

A direção do vento flutuante é o resultado das variações frequentes na direção do vento em curtos períodos do tempo. Esta condição tende a ser a mais favorável para a dispersão de poluentes e a regeneração da qualidade do ar. Quando a atmosfera é instável, os poluentes vão se distribuir em torno à fonte, mas transportados em curtas distâncias. Assim, com uma atmosfera estável, os poluentes serão dispersos com maior facilidade.

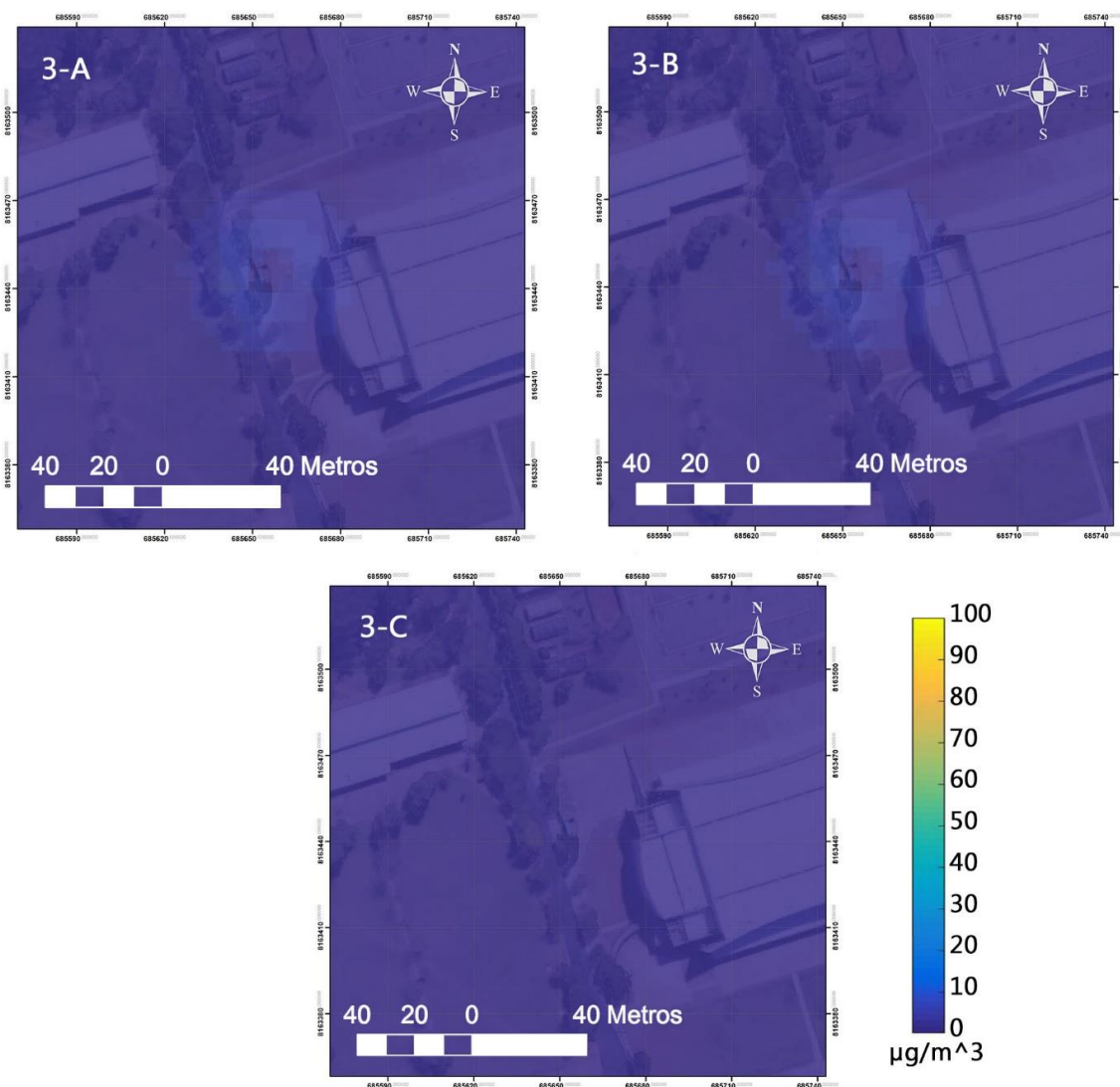


Figura 3. Dispersão de NOx com vento flutuante: atmosfera muito instável (3-A), atmosfera neutra (3-B) e atmosfera muito estável (3-C).

3.3. Vento predominante

Neste caso os poluentes vão ser transportados com maior dificuldade. A dispersão se torna mais difícil com a atmosfera instável e aumenta à medida em que a atmosfera se torna estável. A distância que viajam os poluentes vai ser curta.

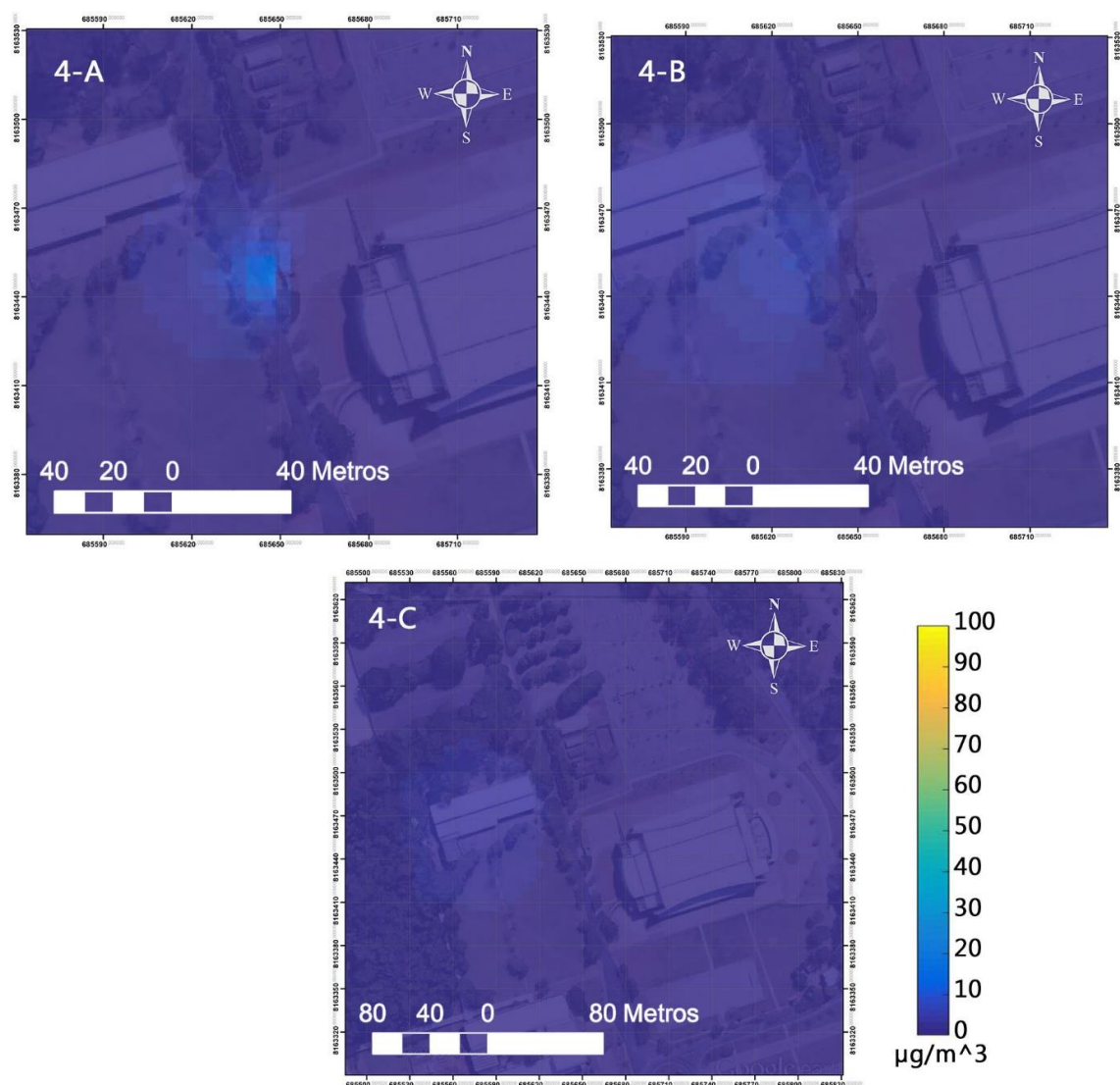


Figura 4. Dispersão de NOx com vento predominante: atmosfera muito instável (4-A), atmosfera neutra (4-B) e atmosfera muito estável (4-C).

4. Conclusão

Foi apresentada uma metodologia de uso prático como instrumento de gestão para o controle da poluição atmosférica e a qualidade do ar.

A modelagem de dispersão gaussiana pode ser considerada uma porta de entrada para a modelagem da dispersão atmosférica. Corresponde a uma metodologia simplificada com algumas variáveis constantes, como o vento, que na realidade varia de um segundo a outro. Eis a necessidade de simular várias condições atmosféricas. Outro fator que não foi considerado, corresponde à rugosidade do solo. A rugosidade é a influência de qualquer obstrução, tais como construções, estruturas ou relevo desnivelado. Porém, esta corresponde a uma alternativa de baixo custo para conhecer a necessidade de aplicar um modelo mais representativo da realidade.

A modelagem gaussiana permite algo de flexibilidade para analisar os dados. Isto se consegue selecionando os dados para um determinado período de tempo, como o período seco do ano de algumas regiões. Com a metodologia aplicada, consegue-se diferenciar a influência das distintas condições atmosféricas, e como diz a teoria, as imagens mostram às atmosferas calmas como as mais suscetíveis da acumulação de poluentes.

A utilidade do método apresentado aqui é referencial. Nos distintos casos onde a fonte poluidora apresenta uma influência relevante nas áreas próximas, os resultados obtidos vão ser a referência para saber da necessidade de aplicar um estudo mais profundo. Por outro lado, a modelagem apresentada, pode servir para escolher a localização de uma futura fonte poluidora em alguns casos.

5. Referencias Bibliográficas

Barrera, M. **Aplicacion del modelo ISC-AERMOD para la estimación de dispersion de olores. Caso de estudio: Planta de tratamiento de aguas servidas La Farfana.** 2010. 113 p. Memoria de titulo. Universidad de Chile ,2010

CONAMA. **Guia metodológica para la estimacion de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y moviles em el registro de emisiones y transferencia de contaminantes.** 2009

Connolly, Paul. **Gaussian Plume Model in MATLAB.** 2014. Disponível em:
<http://personalpages.manchester.ac.uk/staff/paul.connolly/teaching/practicals/gaussian_plume_modelling.html>. Acesso em 19.ago.2016.

DAVIS, Mackenzie Leo **Introduction to environmental engineering** 4th ed Dubuque, IA: McGraw-Hill Companies, c2008. xvi, 1008 p., ill., 24 cm. Includes bibliographical references and index ISBN 0072424117

IEMA. Instituto de energia e meio ambiente. **1º diagnóstico da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil.** 2014

Seinfeld, J.; Pandis S. **Atmospheric Chemistry and Physics.** 2nd ed. 2006

Tadano Y.S.;Mazza R.A.; Tomas E. **MODELAGEM DA DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NO MUNICÍPIO DE PAULÍNIA (BRASIL) EMPREGANDO O ISCST3. Mecânica Computacional Vol XXIX,** p 8125-8148, 2010

Turner, D.B. **Workbook of Atmospheric Diffusion Estimates,** USEPA 999-AP-26. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 1969.

WHO. **Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide.** Global update 2005. Disponível em:
<http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/en/>. Acesso em: 19.ago.2016.

WHO. **Global Urban Ambient Air Pollution Database** (update 2016). Disponível em:
<http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/>. Acesso em 19.ago.2016.