

Análisis del efecto de los edificios cercanos sobre las emisiones de SO₂ de una industria siderúrgica de Maracanaú, Ceará, Brasil.

Leonardo da Cunha Marques, Universidad Federal do Ceará, leo.marques@live.com

Roberto Pepino Minetti, Universidad Tecnológica Nacional - Fac Reg Córdoba, rpm@ciqa.com.ar

Ronaldo Stefanutti, Universidad Federal do Ceará, ronaldostefanutti@hotmail.com

Resumen— En el estado de Ceará, en el nordeste brasileño, el estudio de la contaminación del aire es incipiente y aún poco explorado, a pesar de ser un tema de gran importancia socio-ambiental debido al crecimiento industrial observado en las últimas décadas en el estado. Este crecimiento provoca impactos en la atmósfera local, aumentando la concentración de contaminantes y el riesgo para la salud humana. De esta forma, existe la necesidad de evaluar el grado de contaminación del aire y la legislación ambiental. El objetivo de este estudio fue analizar el efecto de las edificaciones (*Building Downwash*) en la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos a partir de una industria siderúrgica ubicada en el Distrito Industrial de Maracanaú, a través del uso de herramientas de modelado matemático. Para ello, se realizaron múltiples corridas con el modelo de calidad del aire AERMOD para el contaminante dióxido de azufre (SO₂), con diferentes valores de alturas de chimenea, incluyendo las dimensiones físicas de las edificaciones presentes en la industria. Fue posible determinar el área de influencia de cada edificio, observando que existe una edificación que tiene influencia directa sobre la dispersión de las emisiones de la chimenea. Por último, se obtuvo un valor de altura mínima de chimenea de 55 metros para eliminar el efecto *Building Downwash* en la dispersión.

Palabras clave— *Emisiones gaseosas, contaminación del aire, AERMOD, Building Downwash.*

1. Introducción

La contaminación del aire es hoy un tema discutido mundialmente, debido a la relevancia del tema y su impacto en la vida humana. La contaminación atmosférica puede definirse como la introducción de cualquier forma de materia o energía responsable de la degradación de la calidad del aire en concentraciones nocivas u ofensivas a la salud humana que puedan perjudicar los recursos naturales interfiriendo en el uso del medio ambiente [1].

Aunque la contaminación del aire no es un fenómeno reciente, con informes de casos de niebla en el cielo de Londres causados por la quema de carbón de 1272 [2], la problemática es relativamente reciente en el medio académico, en especial en Brasil. En la década de 1970, los problemas de contaminación del aire, además de la contaminación atmosférica urbana, comenzaron a ser reconocidos. Tales problemas incluían la reducción de la capa de ozono, depleción de ozono en la región Antártica y cambios climáticos a niveles globales [3].

El modelado de contaminantes atmosféricos viene siendo ampliamente utilizado en el pronóstico de la calidad del aire. Este método también es útil en la toma de decisiones de la gestión ambiental, tales como el desarrollo de redes de monitoreo, cálculo de altura de chimeneas y creación de estrategias de mitigación de impactos ambientales [1].

Existe una gran variedad de modelos de dispersión atmosférica, que abarcan desde modelos más simples y conceptuales hasta modelos numéricos complejos, que exigen elevados tiempos de ejecución computacional [1, 4]. Aún sobre modelos, existen tres aspectos principales que afectan la precisión de los datos obtenidos [5]:

1. Las matemáticas incluidas en el modelo;
2. La calidad de los datos de entrada;
3. El uso para el cual el modelo está siendo aplicado.

Grandes estructuras afectan el movimiento horizontal del aire atmosférico, llamado viento. Estas distorsiones se deben a la formación de zonas de baja presión cerca de estas estructuras, favoreciendo la aparición de parcelas de aire más lentas y turbulentas. Si una pluma de contaminantes es emitida cerca de zonas de baja presión, ésta queda retenida en la región, ocasionando el fenómeno denominado de *Downwash* [6].

El objetivo de este estudio fue analizar el efecto de las edificaciones (*Building Downwash*) en la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos a partir de una industria siderúrgica ubicada en el Distrito Industrial de Maracanaú, a través del uso de herramientas de modelado matemático.

2. Materiales y Métodos

El área objetivo del estudio se localiza en Maracanaú, en la región donde están instaladas las mayores industrias del estado de Ceará, también conocida como Distrito Industrial de Maracanaú. Para este estudio, se seleccionó una industria del sector siderúrgico para realizar el modelado de la dispersión de sus contaminantes en la atmósfera durante su proceso productivo. La delimitación del área de la industria se hizo con la ayuda del programa QGIS 2.14, un programa de sistema de información geográfica libre. La figura 1 representa los límites del área de estudio y los límites físicos de la industria.

Los datos meteorológicos necesarios para el modelo (dirección y velocidad de los vientos, temperatura, estabilidad atmosférica, nebulosidad, etc.) fueron obtenidos mediante modelado con WRF (Weather Research and Forecasting Model) a través de la compra de base de datos a una empresa especializada. Esta compra se hizo necesaria por la incompatibilidad de los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología (INMET) con el modelo utilizado.

Análisis del efecto de los edificios cercanos sobre las emisiones de SO₂ de una industria siderúrgica de Maracanaú, Ceará, Brasil

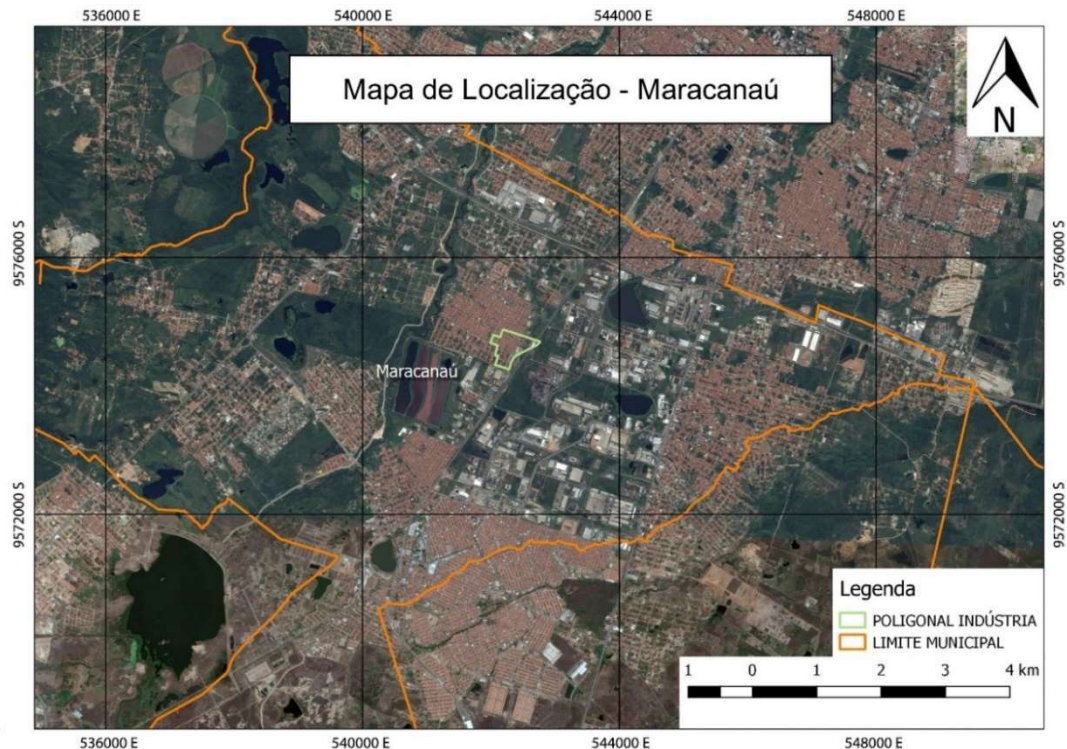


Figura 1 - layout general del área objetivo de la investigación, ubicada en el municipio de Maracanaú/CE.

Fuente: Elaborado por el autor (2017).

De esta forma, fueron obtenidos cinco años de datos meteorológicos horarios (del 1 de enero de 2012 al 31 de diciembre de 2016) con resolución 3km X 3km para el municipio de Fortaleza en formato propio para el modelo AERMET, preprocesador del modelo AERMOD. El intervalo mínimo de cinco años de datos horarios es necesario para obtener resultados con buena confiabilidad. La empresa proporcionó dos archivos:

- Formato SAMSON (*.sam) para datos en superficie;
- Formato TD-6201 (*.ua) para datos en altura.

Se resalta que la distancia entre el local de adquisición de los datos (Aeropuerto de Fortaleza) y el área a ser modelada es pequeña, cerca de 11,6km. Considerando la similitud de características geográficas, es posible inferir que el régimen meteorológico en el área a ser modelada sea similar al de Fortaleza.

También se necesitan datos de entrada para la fuente emisora. La siguiente información se obtuvo en la industria siderúrgica:

- Temperatura (K) y velocidad (m/s) de salida de los gases de la chimenea;
- Diámetro (m) y altura (m) de la chimenea;
- Tasa de emisión (g / s);
- Dimensiones y ubicación de las edificaciones dentro de la industria.

La Tabla 1 presenta las características de la fuente emisora:

Tabla 1: Características físicas de la chimenea de la acería eléctrica.

Fuente Emisora	Número de Chimeneas	Temperatura (K)	Altura de la Fuente (m)
Chimenea de la Acería	Una	359	22
Velocidad de los Gases (m/s)	Diámetro de la Fuente (m)	Coordenadas UTM (m)	
12,30	3,2	543566 (x)	9573772 (y)

Fuente: Elaborado por el autor (2017).

El modelo de dispersión utilizado en este estudio es el software AERMOD View versión 9.5.0. Las características técnicas seleccionadas en el programa para el modelado de este estudio fueron las siguientes:

- Área: Urbana;
- Receptores: Área de influencia de la actividad industrial representada por una rejilla polar de 2 km de radio, con 120 receptores igualmente distribuidos;
- Datos meteorológicos: datos reales horarios para el período del 1 de enero de 2012 al 31 de diciembre de 2016, totalizando 43.848 horas;
- Resultados de las concentraciones de contaminantes: Primera Máxima para períodos de 1 hora, 24 horas y anual;
- Contaminante: Dióxido de Azufre (SO₂), con una tasa de emisión de 0,50 g/s;
- Fuente emisora de contaminantes atmosféricos: Chimenea de la acería.

Los datos meteorológicos también se introdujeron en el programa WRPLOT View, un programa gratuito que permite la construcción de rosa de los vientos a partir de datos meteorológicos. La rosa de los vientos permite una visión de cómo la velocidad y la dirección del viento se distribuyen en un lugar determinado.

En cuanto al efecto de *Building Downwash*, se importó al AERMOD View el plano de la industria, con todas las dimensiones de sus edificaciones, en formato *.dwg. Después de la importación, estos datos se insertan en el preprocesador BPIP-PRIME. De esta forma, fue posible determinar la influencia en la dispersión atmosférica de los edificios cercanos a la fuente emisora.

3. Resultados y Discusión

En este estudio, se utilizó el programa WRPLOT View para generación de rosa de los vientos. La rosa de los vientos representa la dirección de los vientos en una determinada área. Utilizando los datos meteorológicos para el área de estudio, se generó la rosa de los vientos presentada en la figura 2, así como la frecuencia de distribución de la velocidad de los vientos para el período estudiado, entre enero de 2012 y diciembre de 2016.

Se analizó un total de 43848 datos horarios, obteniendo un predominio de vientos soplando en la dirección oeste-noroeste, con un vector resultante de 286 grados. La velocidad media de los

Análisis del efecto de los edificios cercanos sobre las emisiones de SO₂ de una industria siderúrgica de Maracanaú, Ceará, Brasil

vientos para el período fue de 4,95 m/s. Para la distribución de la velocidad, se observó que el 64,8% de los datos se encontraba en el intervalo entre 4 y 6 m/s.

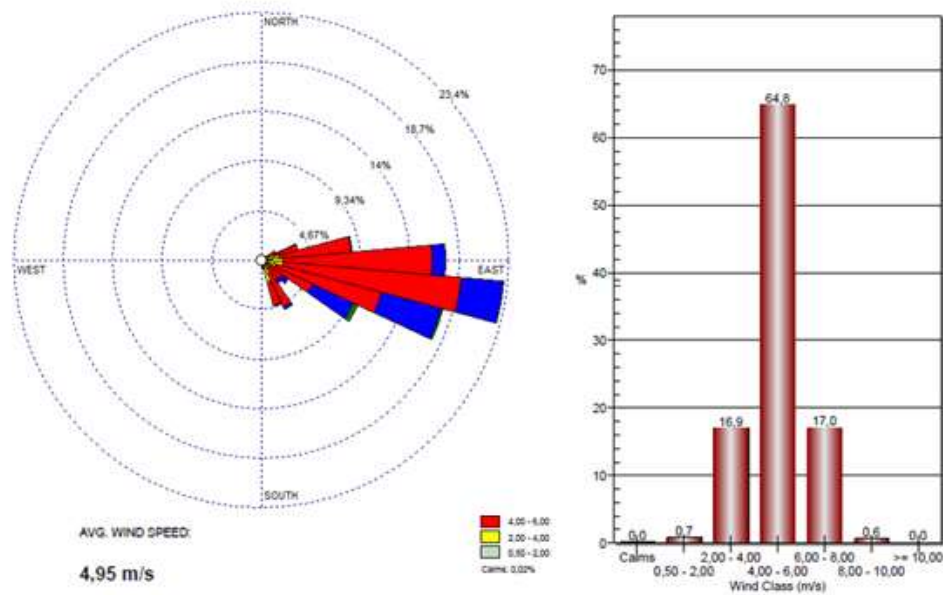


Figura 2: Rosa de los vientos y frecuencia de distribución de la velocidad de los vientos para el área de estudio.

Fuente: Elaborado por el autor (2017).

A través del AERMOD View, fue posible generar la figura 3, que representa el área de influencia de cada edificio en la dispersión de contaminantes, de acuerdo con el viento predominante de la región. De acuerdo con esta figura, la chimenea de la acería está dentro del área de influencia de una edificación (galpón de la acería, indicada por el color amarillento en la imagen).

De esta forma, la dispersión de contaminantes está sufriendo interferencia de este obstáculo, creando una zona de baja presión y desplazando el punto de mayor impacto hacia más cerca de la fuente de emisión.

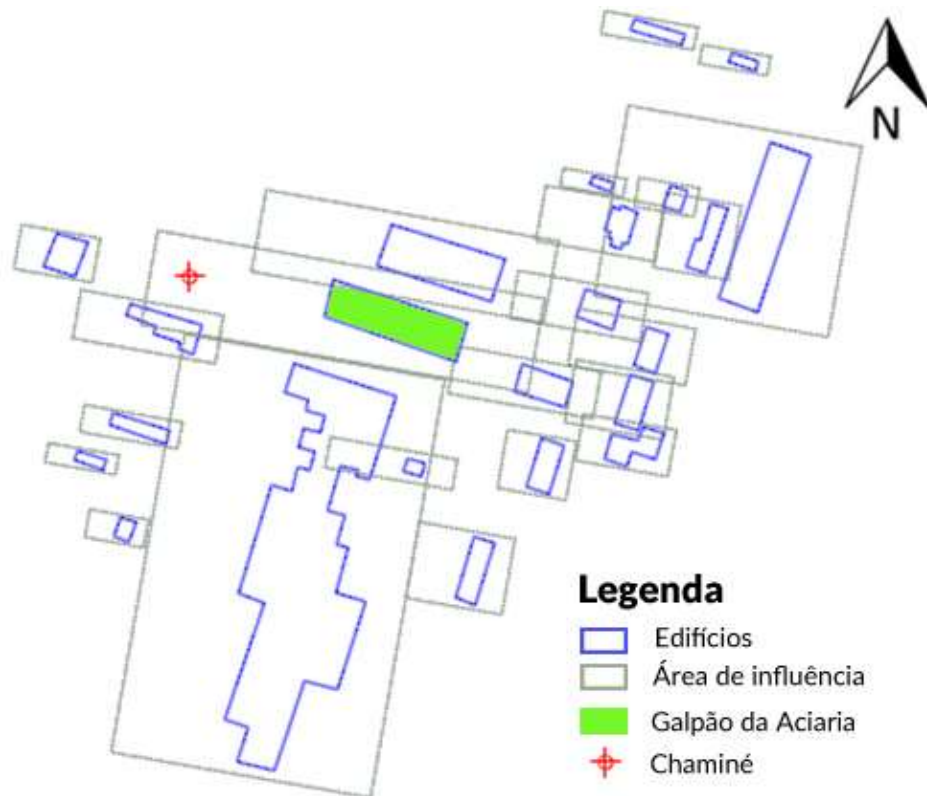


Figura 3: Área de influencia de las edificaciones dentro del área de estudio.

Fuente: Elaborado por el autor (2017).

A partir del dato anterior, el modelo AERMOD, basado en las fórmulas y consideraciones contenidas en el documento "*Guideline for Determination of Good Engineering Practice Stack Height*" [7], calcula automáticamente cuál sería la altura mínima de la chimenea para las edificaciones no tienen efecto en su estructura dispersión. El modelo obtuvo un valor de 55 metros de altura de chimenea.

A partir de este nuevo valor, se realizaron corridas con el modelo para cada altura de chimenea, a fin de comparar la dispersión con la altura actual (22 metros) con esta nueva configuración recomendada (55 metros). Los resultados se presentan en la figura 4.

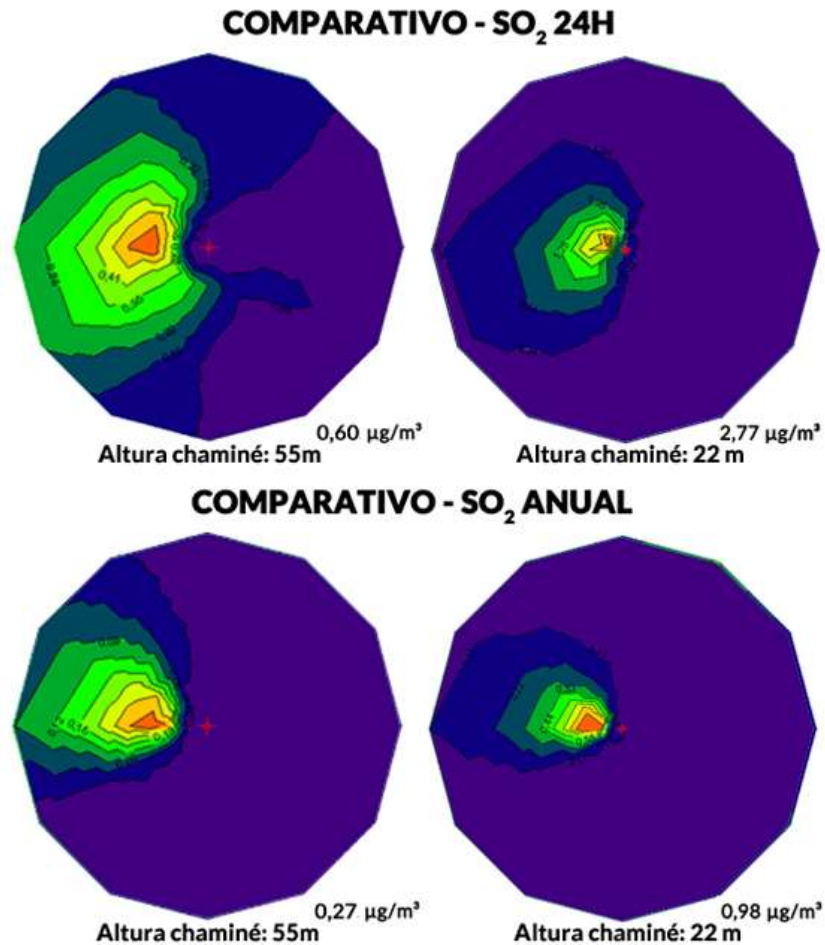


Figura 4: comparación de la altura actual de la chimenea (22 m) y la altura recomendada (55m) para la dispersión de SO₂.

Fuente: Elaborado por el autor (2017).

Al analizar la figura 4, es posible observar la diferencia en el patrón de dispersión del contaminante. Con el nuevo escenario modelado (55m), la pluma se dispersa en mayores distancias, no quedando atrapada cerca de la fuente de emisión por una zona de baja presión, como ocurre con el escenario actual.

De la misma forma, se observa también que la concentración máxima de SO₂ decrece considerablemente con esta nueva altura de chimenea. Para períodos de muestreo de 24 horas, la concentración a nivel del suelo cae de 2,77 µg / m³ a 0,60 µg / m³, mientras que para el muestreo con período anual la concentración se reduce de 0,98 µg / m³ a 0,27 µg / m³, indicando una mejor dispersión de la pluma, sin la ocurrencia del fenómeno de *Building Downwash*.

Sin embargo, se debe resaltar que, considerando solamente las emisiones de la industria, los límites legales de concentración de los contaminantes, establecidos por la Resolución CONAMA N° 03/1990 [8] (365 µg / m³ para 24 horas y 80 µg / m³ para media anual de SO₂) están siendo cumplidos, no habiendo necesidad de adecuaciones físicas en relación a la chimenea.

4. Conclusiones y recomendaciones

En cuanto a la dispersión de contaminantes, este trabajo pudo presentar cómo ocurre este fenómeno en la región estudiada. A partir de las plumas obtenidas por el modelado de la dispersión de contaminantes atmosféricos con el modelo AERMOD, fue posible comparar las concentraciones máximas obtenidas con dos configuraciones de altura de chimenea, evaluando el efecto de Building Downwash en el área de estudio.

La chimenea modelada está dentro del área de influencia de un edificio ubicado dentro de la industria. El modelo obtuvo un valor de altura mínima de chimenea de 55 metros para eliminar el efecto Building Downwash en la dispersión de contaminantes atmosféricos. Se debe resaltar que actualmente no hay necesidad de adecuaciones físicas en la chimenea, pues las concentraciones de contaminantes emitidos están dentro de los límites legales. En escenarios futuros, como una posible reducción de los límites legales de concentración por parte del CONAMA, este aumento de altura de la chimenea serviría como medida de control de contaminación.

Por último, se puede concluir que, debido a los resultados obtenidos, el modelado se mostró como una herramienta útil en la evaluación de la dispersión de contaminantes atmosféricos y en la ayuda de la gestión ambiental en empresas.

5. Referencias

- [1] DE VISSCHER, A. (2014). *Air Dispersion Modeling: Foundations and Applications*. [S.l.]: Wiley.
- [2] BRIMBLECOMBE, P. (2017). *Air Pollution Episodes*. Londres: World Scientific Publishing Europe, v. 6.
- [3] SPORTISSE, B. (2016). *Fundamentals in Air Pollution: From Processes to Modelling*. [S.l.]: Springer.
- [4] SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. (2006). *Atmospheric Chemistry and Physics: From air pollution to climate change*. John Wiley and Sons.
- [5] MAZZEO, N. A.; ROJAS, A. L. P. (2017). Um procedimento simple para evaluar la menor altura ambientalmente sustentable de una chimenea. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, n.131, p.57-62.
- [6] LIU, D. H. F.; LIPTÁK, B. G. (1999). *Environmental Engineers' Handbook*. [S.l.]: CRC Press LLC.
- [7] USEPA – United States Environmental Protection Agency, (1985). *Guideline for Determination of Good Engineering Practice Stack Height*. Disponible en: <<https://www3.epa.gov/scram001/guidance/guide/gep.pdf>>. Acceso en: 18 diciembre 2017.
- [8] BRASIL. *Resolução CONAMA n° 03, de 28 de junho de 1990*, 1990. Disponible en: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>>. Acceso en: 18 diciembre 2017.