



LEARNING TOXICOLOGY  
THROUGH OPEN EDUCATIONAL  
RESOURCES

# POLUENTES ATMOSFÉRICOS GASOSOS

Dana PERNIU, Ileana MANCIULEA  
Transilvania University of Brasov  
[d.perniu@unitbv.ro](mailto:d.perniu@unitbv.ro), [i.manciulea@unitbv.ro](mailto:i.manciulea@unitbv.ro)

Traduzido e adaptado por Bárbara Silva ([barbarapolerisilva@gmail.com](mailto:barbarapolerisilva@gmail.com)), Telma Soares ([telmabsoares@gmail.com](mailto:telmabsoares@gmail.com)) e Fernando Remião ([remiao@ff.up.pt](mailto:remiao@ff.up.pt)) do Laboratório de Toxicologia da Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto (Portugal)



**U. PORTO**

<https://toxoeer.com>

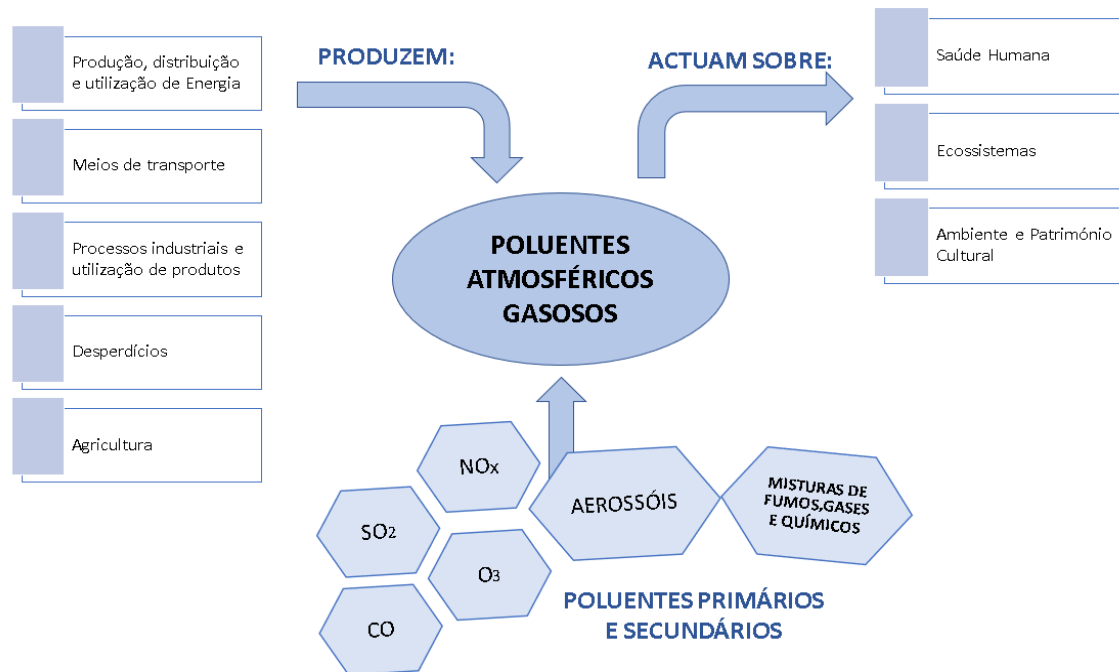


This work is licensed under a Creative  
commons attribution – non commercial 4.0  
international license



## 1. INTRODUÇÃO

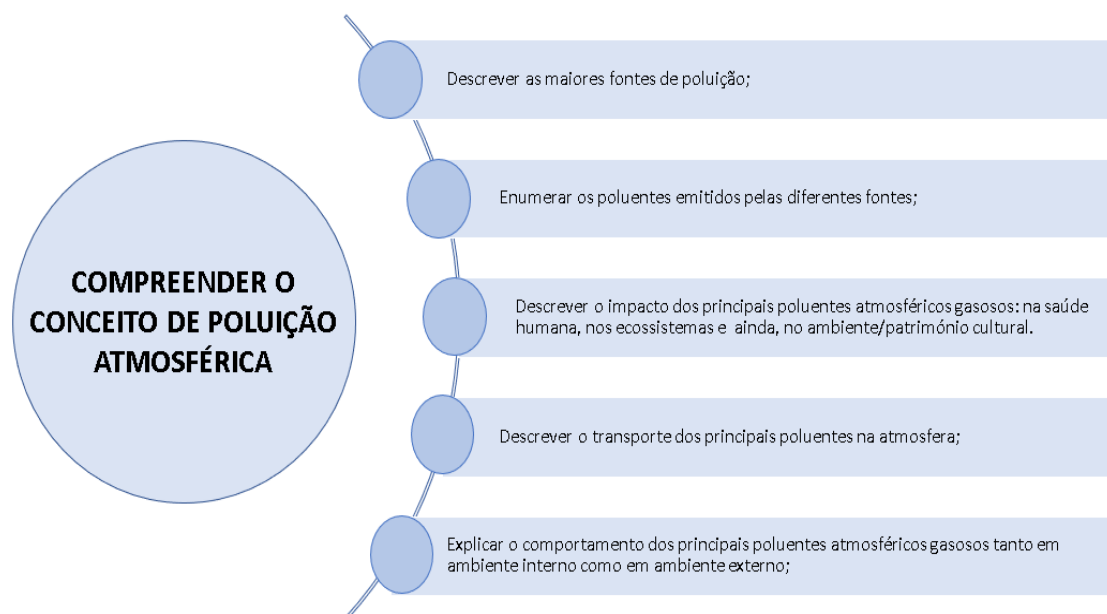
Neste módulo será apresentada uma visão integrada sobre os poluentes atmosféricos gasosos, destacando os poluentes primários e secundários emitidos por diversas fontes, promotores de efeitos adversos tanto para a saúde humana como para o ambiente (Figura 1).



**Figura 1** – Esquema dos conteúdos abordados. São destacados os principais produtores de poluentes atmosféricos gasosos e os seus efeitos adversos, bem como exemplos de poluentes primários e secundários. Sendo: NO<sub>x</sub> – Óxidos de nitrogênio; O<sub>3</sub> – Ozono; SO<sub>2</sub> – Dióxido de enxofre; CO – Monóxido de Carbono;

Desta forma, o primordial objetivo do módulo é fornecer informações que possibilitem uma correta conceção sobre poluição, destacando-se como objetivos específicos (Figura 2):

- Descrever as importantes fontes de poluição do ar e enumerar os poluentes emitidos pelas diferentes fontes;
- Descrever o transporte de poluentes na atmosfera, requerendo conhecimento sobre as propriedades físicas e químicas dos poluentes;
- Exemplificar o comportamento dos poluentes no exterior e no interior;



**Figura 2** – Esquema representativo dos objetivos do curso, discriminando os objetivos específicos envolvidos à compreensão do conceito de poluição atmosférica.

Sucintamente, no fim deste módulo saberá descrever os efeitos dos poluentes gasosos tanto sobre a saúde humana como sobre o ambiente natural e património cultural.

Agradecemos a sua opção neste curso e desejámos o maior sucesso no desenvolvimento do seu próprio conhecimento.

## 2. POLUENTES GASOSOS NA ATMOSFERA

O ar puro representa uma necessidade básica para alcançar uma vida e um bem-estar saudáveis. No entanto, o esforço da humanidade na melhoria da qualidade de vida gera um enorme desenvolvimento tecnológico e económico, prejudicial tanto para a qualidade do ambiente em geral como para a qualidade do ar em particular.

Assim, na nossa apresentação, serão dadas informações básicas sobre a poluição do ar induzida pela libertação de poluentes gasosos na atmosfera resultantes de atividades antrópicas.

### 3. COMPOSIÇÃO ATMOSFÉRICA

A Terra é rodeada pela atmosfera gasosa que se encontra dividida em 5 camadas, delimitadas pela altitude de acordo com a sua composição e temperatura: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera. Dentro destas, a camada mais próxima da superfície da terra é a troposfera, comumente denominada de ar, representativa de aproximadamente 80% de toda a massa atmosférica e de praticamente toda a massa total de água.

À exceção da água, que tem uma concentração variável, a composição atmosférica é constante ao longo de 10 km, sendo constituída por componentes principais, que representam 99,6% da massa atmosférica total, e por componentes vestigiais vulgarmente denominados de gases traços.



Figura 3 – Representação esquemática da localização da tropoesfera.

Os principais gases da atmosfera que constituem 99,96% (vol) da sua massa total são:

**Nitrogênio, N<sub>2</sub> (78%, vol)** – é o gás atmosférico mais comum. Não reage com outras substâncias nas condições atmosféricas;

**Oxigênio, O<sub>2</sub> (21%, vol)** - é o segundo gás mais comum, sendo essencial para a respiração de todos os animais na Terra, de seres humanos a bactérias. É um gás altamente reativo;

**Argon, Ar (0,93%, vol)** - é um gás nocivo inerte;

**Dióxido de carbono, CO<sub>2</sub> (cerca de 0,03%, vol)** - é o gás com a menor percentagem na atmosfera mas apresenta-se como uma matéria-prima essencial para a fotossíntese, sendo vital para a vida na Terra. Similarmente desempenha um papel imprescindível na manutenção do equilíbrio térmico da Terra. No século passado, como consequência da atividade antrópica, a concentração atmosférica de dióxido de carbono aumentou, resultando em mudanças climáticas.

Entre os gases traços, que representam 0,04% da massa atmosférica total, pode encontrar-se:

Gases nobres (Kripton, Xenon, Helium)  
 Amônia (NH<sub>3</sub>)  
 Matéria orgânica  
 Metano (CH<sub>4</sub>)  
 Óxidos de nitrogênio (N<sub>2</sub>O, NO, NO<sub>2</sub>)  
 Ozono (O<sub>3</sub>)  
 Dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>)  
 Vários sais e partículas sólidas em suspensão

A água (em estado de vapor) é encontrada em quantidades variáveis, entre 0,1% e 5%, sendo dependente da temperatura, precipitação, taxa de evaporação e localização. Se o vapor de água for excluído, a composição do ar troposférico é constante. Sucintamente, o vapor de água é um elemento do ciclo hidrológico e representa um gás extremamente importante quando se atenta ao conhecido efeito de estufa.

## 4. UNIDADES PARA EXPRESSAR A CONCENTRAÇÃO ATMOSFÉRICA

Para estimar a composição atmosférica recorre-se a diferentes unidades de medida, como:

**% (m)** – percentagem em massa

**% (vol)** – percentagem em volume

**mg / m<sup>3</sup>** - miligramas de componente por metro cúbico de ar

**µg / m<sup>3</sup>** - microgramas de componente por metro cúbico de ar

**partes por milhão de volume (ppmv)** - partes de volume de componente por milhão de partes de volume de ar.

**partes por bilhão de volume (ppbv)** - partes de volume do componente por bilhão de partes de volume de ar.

As frações de volume ppmv e ppbv expressam o número de partes de volume do componente de ar em um milhão ou em um bilhão de partes de volume de ar respetivamente, ou o número de moléculas de componente gasoso em um milhão / bilhão de moléculas de componentes de ar.

## 5. CONVERSÃO DE CONCENTRAÇÕES

Devido à falta de consenso na seleção de uma escala única relativamente à concentração dos componentes atmosféricos é necessário haver relações de conversão de uma unidade para outra. As transformações são baseadas na Lei do Gas Ideal ( $pV = nRT$ ) que estipula a proporcionalidade entre o volume de gás e o número total de moléculas.

**Tabela 1** - Relações para conversão entre diferentes unidades. Onde *ppmv*, *ppbv*, *mg/m<sup>3</sup>* e *µg/m<sup>3</sup>* representam as frações de volume de determinado componente no ar; *M* o peso molecular do componente gasoso; *R* a constante universal dos gases perfeitos ( $R = 0.08205 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ); *T* a temperatura em Kelvin ( $T = [273.15 + (^\circ\text{C})] \text{ K}$ ); e, por fim, a pressão atmosférica  $p = 1 \text{ atm}$ .

Transformação		Relação
De	Para	
$\text{mg/m}^3$	ppmv	$\text{ppmv} = \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{[273.15 + (^\circ\text{C})]}{M} \cdot 0.08205$
$\text{mg/m}^3$	ppbv	$\text{ppbv} = \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \cdot \frac{[273.15 + (^\circ\text{C})]}{M} \cdot 0.08205$
ppmv	$\text{mg/m}^3$	$\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} = (\text{ppmv}) \cdot \frac{M}{[273.15 + (^\circ\text{C})]} \cdot \frac{1}{0.08205}$
ppbv	$\text{mg/m}^3$	$\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} = (\text{ppbv}) \cdot \frac{M}{[273.15 + (^\circ\text{C})]} \cdot \frac{1}{0.08205}$

## 6. HISTÓRIA DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

O ar puro contém apenas as substâncias previamente referidas na proporção mencionada. No entanto, como resultado da atividade antrópica, a concentração de alguns gases é modificada levando a mudanças nas propriedades / funções fundamentais do ar.

Na história existiram uma série de eventos que promoveram alterações na composição atmosférica. Sendo, em seguida, reportados alguns exemplos destes eventos.

Um dos primeiros testemunhos do desconforto causado pela presença de poluição atmosférica foi dado pelo filósofo Sêneca, fazendo referência à libertação de compostos aquando da combustão do carvão. Este, num dos seus textos, descreveu uma alteração da sua disposição promovida pelo ar pesado de Roma, provocado por vapores com odor nocivo e uma mistura de fuligem oriundos dos fumos libertados pelas chaminés.

Ao longo dos séculos, para satisfazer necessidades de aquecimento e confeção de alimentos, o carvão foi usado como principal fonte de energia.

Em Inglaterra, durante o século 14, mais concretamente em 1306, o rei Edward primeiro, proibindo a queima de carvão, promoveu a primeira lei de proteção ambiental, no entanto, foi ignorado pela população.

Em dezembro de 1952, após quatro dias de “neblina”, registaram-se 400 mortes por exposição ao ar carregado com espécies poluentes – dióxido de enxofre e partículas – ficando este evento conhecido como “smog de Londres”.

Outro momento essencial foi a publicação do livro *DeReMetallica*, em 1556, de Georg Bauer, sob o pseudónimo Gerogius Agricola, onde efetua uma extensa apresentação sobre mineração. É a primeira monografia focada na atividade industrial que faz menção à poluição atmosférica.

Mais tarde, em 1661, o rei Carlos II pediu a John Evelyn que escrevesse um livro com foco nos perigos da combustão do carvão, resultando no primeiro estudo abrangente que aborda a poluição atmosférica – *Fumifugium* ou *A inconveniência da fumaça dissipada no ar de Londres*, junto com alguns remédios propostos humildemente por J.E. a Sua Sagrada Majestade e ao Parlamento agora reunido. *Fumifugium*, é uma palavra composta oriunda do Latim: *fumus* que significa fumo e *fugit* que significa ‘o tempo voa’.

Já séculos mais tarde, entre 1800 e 1900, a acompanhar a revolução industrial e o uso do carvão como fonte de energia para o funcionamento das máquinas, o uso do carvão na Grã-Bretanha passou a ser 100 vezes superior. Consequentemente, na última metade do século XIX e início do século XX, o smog produzido pelo carvão, geralmente chamado de “neblina”, era bastante comum e abordados. Escritores, cientistas, e até mesmo pintores evocaram-no nas suas obras, sendo exemplos: Charles Dickens, Charles Darwin, James Russel Arthur Conan Doyle, Claude Monet, Camille Pissarot, Edgar Degas, etc.

## 7. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA: ABORDAGEM

As mudanças significativas na qualidade atmosférica promovidas pela presença de contaminantes ou poluentes em concentrações que interferem com a saúde e bem-estar humano, ou que promovam outros efeitos ambientais prejudiciais é denominada **poluição atmosférica**.



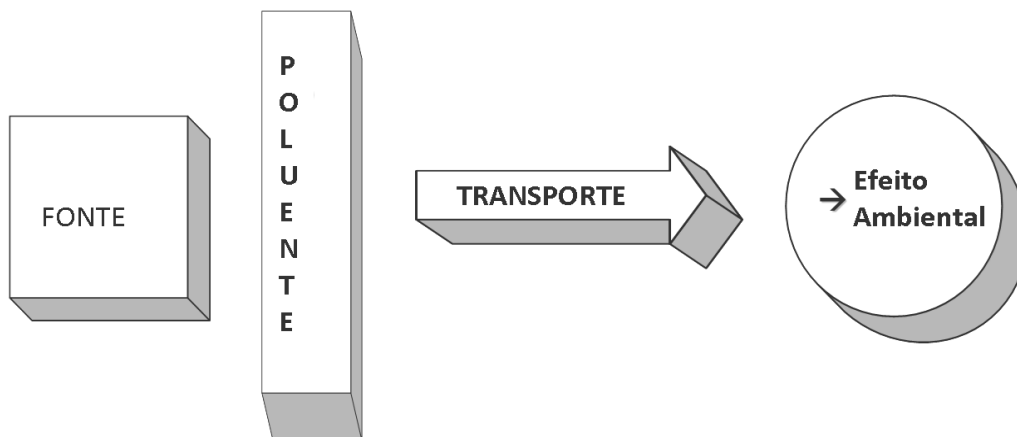
**Figura 4** – Definição de poluição atmosférica e ilustrações relativas ao aparecimento e evolução desta no decorrer do tempo.

Os poluentes atmosféricos gasosos fazem referência aos poluentes presentes no ar na forma de gases ou vapores, ou seja, moléculas individuais capazes de passar pelos filtros existentes, não sendo capazes de adsorver ou reagir quimicamente com o meio filtrante. No sistema respiratório humano estes poluentes são facilmente absorvidos, contudo, se forem solúveis em água, são rapidamente depositados no trato respiratório superior não alcançando os tecidos mais profundos do pulmão.

Devido à complexidade da poluição ambiental e, em especial, da poluição do ar, a análise desta requer uma abordagem integrada, considerando as fontes de emissão de poluentes, o transporte aéreo e os efeitos destes na saúde humana e no meio ambiente.

Assim, nesta seção, serão abordadas as fontes de poluição atmosférica; e, já durante a 2ª unidade, serão abordados os efeitos bem como o transporte de alguns poluentes com base em processos físico-químicos.





**Figura 5** – Abordagem integrada, considerando as fontes de emissão de poluentes, o transporte aéreo e os efeitos destes na saúde humana e no meio ambiente.

## 8. Fontes de poluição atmosférica

A diversificação massiva da atividade antrópica é o principal promotor da existência de numerosas fontes de poluição atmosférica. A caracterização dessas fontes é feita de inúmeras formas, em seguida, sucintamente descritas.

Considerando a natureza da fonte, os poluentes podem ser distinguidos como emitidos por fontes naturais e/ou artificiais.

São exemplos de fontes **naturais**: erupções vulcânicas, pó do deserto, decomposição de matéria orgânica e emissões biogénicas por parte de árvores e outra vegetação.

As fontes **antrópicas** fazem referência à libertação de poluentes resultantes da atividade ou intervenção humana sendo, como é previsível, a maior contribuição para a poluição atmosférica.

Podem ser também caracterizadas como fontes estacionárias ou móveis, sendo principalmente distinguidas por:

As **fontes estacionárias** compreendem tanto as emissões domésticas como as industriais.

As **fontes móveis** compreendem os veículos utilizados como meio de transporte terrestre, marítimo e aéreo.

Similarmente, estas fontes podem ser distinguidas como fontes de ponto, linha ou área:

As **fontes de ponto** referem-se a fontes que surgem como pontos individuais. A escala espacial é normalmente usada em área 1 × 1 Km. Exemplos deste tipo de fontes são as estações de energia

elétrica, mesmo quando detentoras de mais que uma chaminé e ainda zonas industriais individuais.

As **fontes de linha** englobam as vias de circulação de veículos e as linhas ferroviárias.

As **fontes de área** representam as mais difundidas, ou seja, espalhadas por uma região espacial significativa. São exemplos destas as caldeiras utilizadas para o aquecimento de habitações uma vez que, apesar de serem pequenas fontes de emissão, em análises ambientais não são tratadas individualmente.

Para além disso as fontes antrópicas são analisadas de acordo com **setores**, tal como apresentadas nos documentos oficiais da União Europeia:

**Transporte rodoviário** utilizado para descrever todas as emissões provenientes do tráfego rodoviário, independentemente do tamanho ou aplicação do veículo. A combustão tanto da gasolina como do gasóleo promove a libertação de gases de escape constituídos por vários poluentes nocivos.

**Transporte não-rodoviário** que inclui os aviões, comboios, entre outros.

**Setor comercial, institucional e doméstico**

Setor de **processos industriais e utilização de produtos** que produz poluição atmosférica não só com poluentes “tradicionais”, mas também com poluentes “esotéricos” oriundos de processos industriais específicos.

**Produção e distribuição de energia** – A queima de combustíveis fósseis (como fontes estacionárias) é o meio de produção de energia que promove uma maior poluição atmosférica.

A **agricultura** pode ser tanto uma fonte de poluição como um recetor de poluição, uma vez que as emissões de outras fontes podem ser prejudiciais para as culturas agrícolas.

O setor dos **resíduos** pode ser considerado uma fonte de poluição intermitente, uma vez que as emissões comumente não são planeadas. Por exemplo, durante a incineração dos resíduos, ou fogos acidentais, são libertadas dioxinas e, esporadicamente, produtos não intencionais que acabam por dificultar a monitorização e induzir efeitos adversos graves para a saúde.

Em acréscimo, é importante destacar que as diversas fontes de poluição atmosférica podem ser similarmente caracterizadas pela localização geográfica e o tipo de atividades inerentes à região. Assim, a poluição atmosférica em ambiente urbano é caracterizada por emissões do transporte rodoviário, atividades industriais, comerciais, institucionais e domésticas e também pelo setor de resíduos, produção e distribuição de energia. Já em ambiente rural, o setor da atividade agrícola acarreta a contribuição mais importante para a diminuição

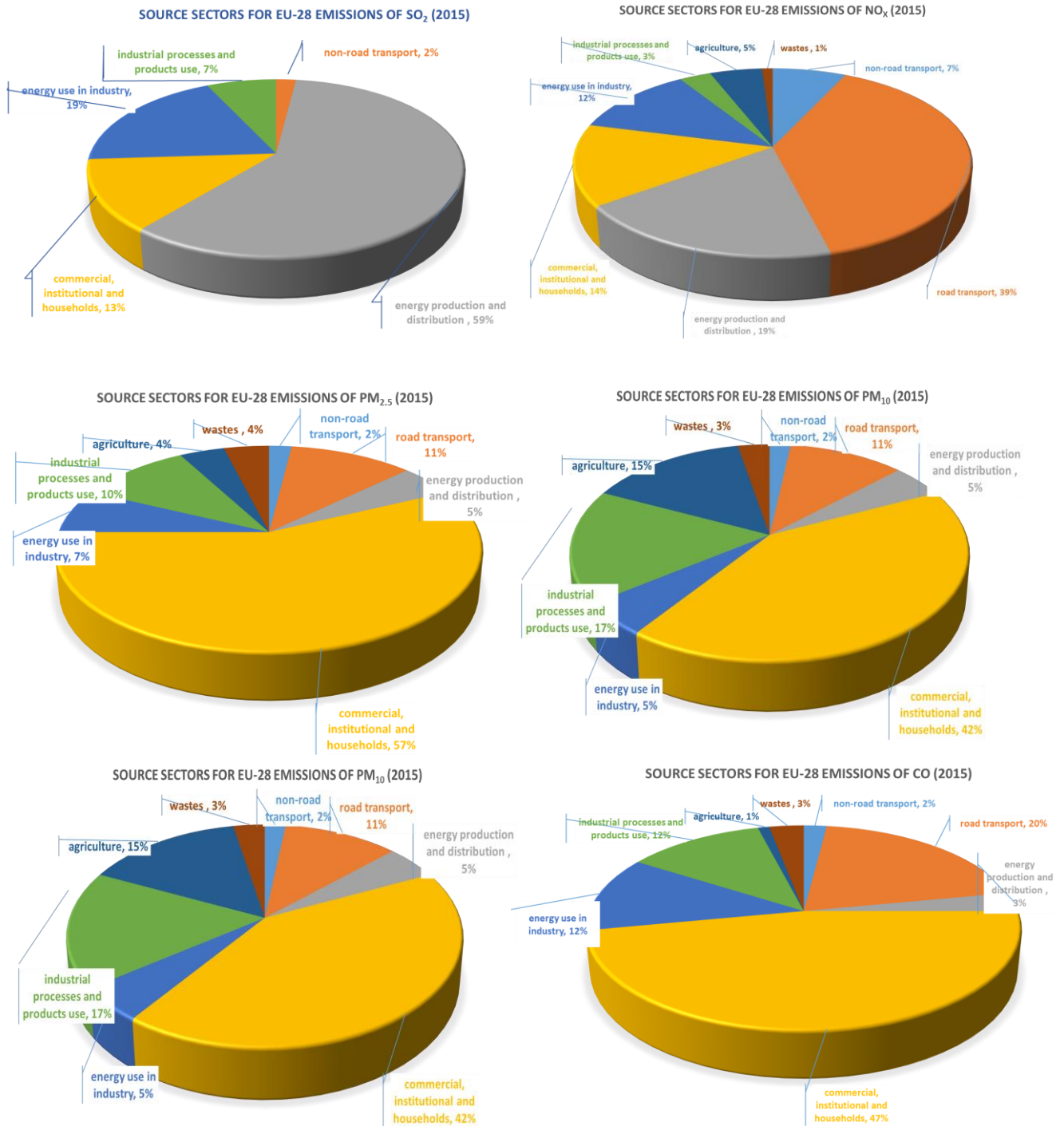
da qualidade do ar.

Por último, com foco no impacto dos poluentes atmosféricos sob a saúde humana, não pode ser esquecido que na atualidade as pessoas passam mais de 90% do dia no interior de edifícios e habitações. Consequentemente, devido a atividades e produtos específicos, o **interior** dos espaços é também uma importante fonte de poluição que será abordado na terceira unidade.



**Figura 6** – Diferentes tipos de poluição. Poluição exterior, abordada neste módulo e poluição do ar interior que será abordada no terceiro módulo.

Como exemplo das diferentes fontes de emissão de poluição é apresentado na figura 7 a contribuição por parte de cada setor para os poluentes atmosféricos gasosos mais relevantes. Os dados fazem referência a emissões registadas pelos países da União Europeia em 2015 e apresentados no relatório de 2017 sobre a qualidade do ar na Europa “Air quality in Europe – 2017 Report”.



**Figura 7** – Dados referentes a 2015 sobre a contribuição por parte de cada setor para os poluentes atmosféricos mais relevantes.

Segundo os dados apresentados, o setor com maior contribuição na emissão de dióxido de enxofre foi a produção e distribuição de energia. Resultados expectáveis, considerando que em 2015, na Europa, 18,9% da produção de energia foi produzida pelo carvão. Já a principal fonte de emissão de óxidos de nitrogênio foi o

transporte rodoviário. No entanto, a produção e distribuição de energia, as atividades comerciais, institucionais e domésticas também apresentaram uma contribuição significativa. No entanto, entre 2000-2015, houve uma diminuição das emissões destes óxidos devido, principalmente, ao desenvolvimento tecnológico. De destacar também que o monóxido de carbono foi produzido principalmente por atividades comerciais, institucionais e domésticas e, similarmente, pelo transporte rodoviário.

Sucintamente, a fonte de emissão de partículas com dimensões aerodinâmicas até 2,5 micrómetros mais importante foi o comércio, instituições e famílias, sendo a principal fonte de energia o combustível fóssil. Já as fontes que emitiram partículas com diâmetro aerodinâmico até 10 micrómetros, foram atividades comerciais, institucionais e domésticas. Neste caso, foi registado um aumento na contribuição dos processos industriais.

## 9. Referências

- <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017>  
<http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2017/evolution-of-who-air-quality-guidelines-past,-present-and-future-2017>  
<https://www.eea.europa.eu/help/glossary>  
[http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf)  
<http://acmg.seas.harvard.edu/people/faculty/djj/book/>  
[http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy\\_production\\_and\\_imports](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_production_and_imports)  
<http://www.planetgreen.org/2012/03/edward-i-environmentalist-by-a.html>  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Fumifugium>  
 Brimblecombe, P., Attitude and Response Towards Air Pollution in Medieval England, *Journal of the Air Pollution Control and Association*, Vol 26, issue 10, 1996, <https://doi.org/10.1080/00022470.1976.10470341>  
 Schorr, D., Art and History of Environmental Law July 19, 2015, Available at: <https://ssrn.com/abstract=2633175>  
<https://www.brainpickings.org/2016/02/15/seneca-letter-18/>  
<http://www.alamy.com/stock-photo/de-re-metallica.html>  
<http://historytradeart.blogspot.ro/2010/05/art-and-artistic-reactions-to.html>  
<https://aboutartnouveau.wordpress.com/2015/11/20/art-nouveau-is-back/dark-satanic-mills/>  
<http://www.dailymail.co.uk/news/article-2243732/Pea-souper-killed-12-000-So-black-screen-cinemas-So-suffocatingly-lethal-ran-coffins-How-Great-Smog-choked-London-60-years-ago-week.html>  
<https://www.express.co.uk/life-style/life/771226/cough-air-pollution>  
<http://thegreentimes.co.za/the-melting-arctics-dramatic-impact-on-global-weather-patterns/>



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITA DI BOLOGNA



VNiVERSiDAD  
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



Universitatea  
TRANSILVANIA  
din Braşov



KYAMK  
University of Applied Sciences

U. PORTO



UNIVERZITA KARLOVA



<https://toxouer.com>

Project coordinator:  
Ana morales, Headquarters office in Salamanca.  
Dept. Building, Campus Miguel de Unamuno, 37007.  
Contact Phone: +34 923 294 698