

## Unidade didática - Aprendendo sobre ozono

**Em colaboração com:**



Universidade de Vigo

Licença: Creative Commons Attribution 4.0 License.



**Autores:** Juan Antonio Añel Cabanelas e Antonio Cid Samamed.

**Agradecimentos:** Margarida Correia Marques e Fernando Braga (UTAD, Portugal).

### Competências básicas a adquirir

- Compreender o ambiente do nosso planeta.
- Refletir sobre o impacto humano no ambiente.
- Compreender as técnicas de monitorização da atmosfera.
- Medir, recolher dados e tratá-los.
- Utilizar novas tecnologias, aplicações e sistemas informáticos.

### Objetivos

Nesta unidade curricular vamos refletir sobre os seguintes conceitos:

- Compreensão da evolução da poluição atmosférica no nosso planeta.
- Variações diárias de poluição e suas fontes antropogénicas.
- Química do ozono.
- Quantificação experimental do ozono.

### Conteúdo

1. História da descoberta do ozono.
2. Precursores e fontes de ozono na troposfera.
3. Ciclo de Chapman.
4. Ciclos temporais do ozono.
5. Medição de ozono.
  - 5.1. Técnica de Schönbein.
    - 5.1.1. Nível avançado.
    - 5.1.2. Nível básico.
  - 5.2. Técnicas atuais.

### Tempo

4 horas de aula

### Método

Entre outras, as seguintes estratégias podem ser usadas para uma aprendizagem eficaz:

- Pesquisa bibliográfica sobre ozono.
- Visita a uma estação de medição da qualidade do ar.
- Uso de ozonómetros portáteis.

- Dividir os alunos em grupos de trabalho para medir o ozono e comparar os resultados obtidos com os registados nas estações de monitorização da qualidade do ar próximas.

### Recursos

- Vídeo sobre a técnica tradicional de medição de ozono de Schönbein.  
<https://tv.uvigo.es/series/607ff5a3ca40eb00d41e93a3>
- Aplicativo e software para dispositivos móveis (telemóveis, tablets) e computadores:  
<https://github.com/EPhysLab-UVigo/O3METER>  
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.apercloud.o3meter&hl=en>
- Ramírez-González et al. (2020) <https://doi.org/10.5194/gc-3-99-2020>.
- Fabian e Dameris (2014) *Ozone in the Atmosphere*, Ed. Springer, 137 pp. ISBN: 978-3-642-54098-1.

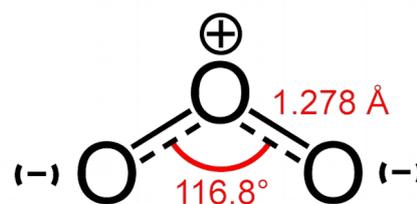
### Avaliação

- Conhecer a história da descoberta e medição do ozono.
- Conhecer a estrutura da molécula de ozono.
- Conhecer as reações que dão origem à formação e destruição do ozono.
- Distinguir entre ozono troposférico e estratosférico e camada de ozono.
- Identificar diferentes dispositivos e técnicas de medição de ozono.
- Ser capaz de representar dados e séries temporais de concentração de ozono.
- Identificar os ciclos temporais de concentração de ozono.
- Conhecer os procedimentos de segurança dos reagentes utilizados e as técnicas necessárias para produzir/preparar papel de ozono.
- Ser capaz de usar o software adicional disponível para medir a concentração de ozono nas tiras.
- Obter de forma independente séries de dados de ozono usando fontes externas (disponíveis na Internet) e é capaz de compará-las com seus próprios valores medidos.

## Conteúdos

### 1. História da descoberta do ozono.

A descoberta do ozono ( $O_3$ ) é atribuída tradicionalmente a Christian Schönbein, um químico suíço-alemão, que em 1839 foi o primeiro a isolar o referido gás e a nomeá-lo (ozono é a palavra grega para “cheiro”). Anteriormente, em 1785, o químico holandês Martinus van Marum já o havia detetado, mas sem perceber que era um gás à data ainda desconhecido. No entanto, a fórmula do ozono ( $O_3$ ) não foi determinada até 1865.



**Figura 1:** Fórmula estrutural da molécula de ozono. *Fonte:* Wikipedia. *Licença:* domínio público.

Durante grande parte do século XIX, o ozono foi considerado um gás com propriedades benéficas, já que seu cheiro evocava de alguma forma ambientes com ar puro. É por isso que muitos observatórios que mediam o ozono nessa época estavam relacionados com as faculdades de medicina e não aos observatórios meteorológicos.

Longos períodos de exposição a concentrações suficientemente altas de ozono podem causar sérios danos à saúde. A maior parte do ozono na nossa atmosfera encontra-se na estratosfera, e apenas 10% do total do ozono está localizado na parte inferior da atmosfera, onde vivemos (troposfera). O ozono também interage com a radiação ultravioleta. Graças a essa propriedade, em 1920, foi possível determinar a espessura da chamada "camada de ozono" encontrada na estratosfera.

## 2. Precursores e fontes de ozono na troposfera.

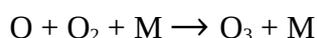
A origem do ozono é biogénica, da mesma forma que o oxigénio. No entanto, diversos processos antropogénicos dão origem à formação de precursores de ozono.

Esses processos são emissões de motores de combustão de automóveis, queima para uso doméstico (por exemplo, aquecimento que pode ser a carvão em algumas áreas do mundo) e emissões provenientes de indústrias. Os precursores de ozono que eles originam são principalmente óxidos de nitrogénio (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO) e compostos orgânicos voláteis (VOCs).

A emissão de óxidos de nitrogénio pode causar a formação de ozono seguindo o mecanismo:

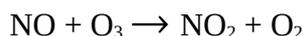


$h\nu$ : a constante de Planck multiplicada pela frequência da radiação



M: ar

No entanto, NO e O<sub>3</sub> reagem entre si muito rapidamente:



Esta reação remove o ozono novamente. No entanto, CO e VOCs, que também se encontram entre a mistura de precursores, através de um conjunto de reações dão origem ao NO que se transforma em NO<sub>2</sub> sem eliminar o O<sub>3</sub>. Portanto, a reação inicial é a que domina o processo, resultando num aumento líquido nas concentrações de ozono.

## 3. Ciclo de Chapman

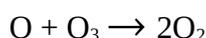
O ciclo Chapman, assim denominado em homenagem ao matemático e geofísico britânico Sydney Chapman, que o propôs em 1930, é o processo que explica a produção de ozono na estratosfera do nosso planeta. Pode ser representado da seguinte forma:



$h\nu$ : a constante de Planck multiplicada pela frequência da radiação

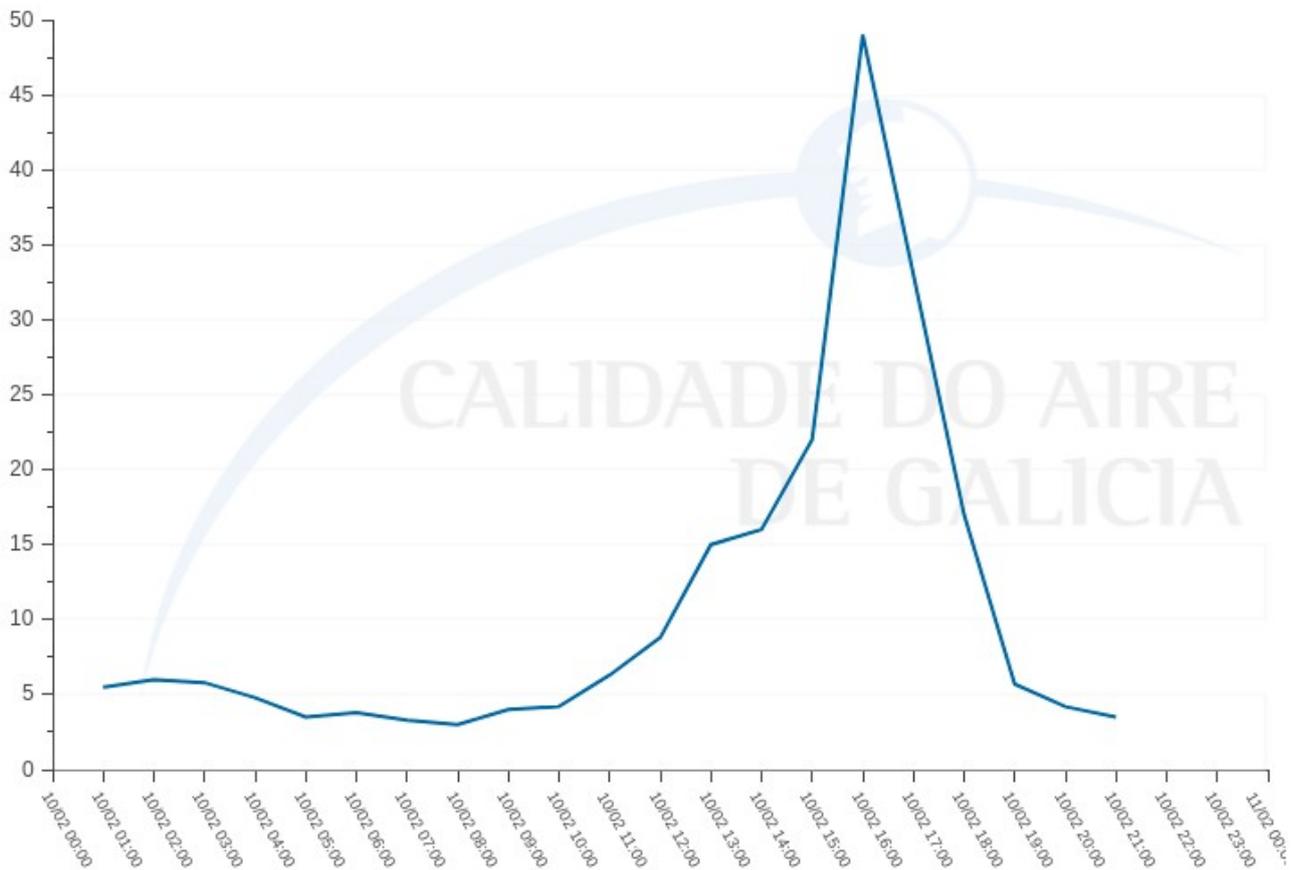


M: ar



#### 4. Ciclos temporais do ozono.

Como mostram as reações, a existência de radiação ultravioleta é necessária para que a cadeia de reações de produção de ozono se inicie. É por isso que o ozono troposférico apresenta um ciclo diário claro, com picos de concentração máxima durante o dia e concentrações mínimas à noite. Da mesma forma, apresenta um ciclo sazonal nas regiões extratropicais do planeta, com valores mais elevados durante os meses de verão e valores mínimos durante os meses de inverno.



**Figura 2:** Ciclo diário do ozono ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Dados: Estação Gómez Franqueira (Ourense, Espanha) (10/02/2022). Fonte: MeteoGalicia.

#### 5. Medição de ozono.

##### 5.1. Técnica de Schönbein.

Esta técnica tem o nome de Christian Friedrich Schönbein (1799-1868), que a desenvolveu e descobriu o  $\text{O}_3$ . É um método rudimentar baseado em tiras de papel impregnadas com uma solução de iodeto de potássio (KI) e amido ( $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n - (\text{H}_2\text{O})$ ) e submersas em água destilada. Diversas versões da técnica variam nas concentrações de amido e KI, além do tipo de papel usado. Como resultado dessas diferentes versões, durante o século XIX, foram produzidos vários tipos de tiras de papel para medir  $\text{O}_3$ , com diferentes níveis de precisão. As tiras feitas por Jame de Sedan eram tradicionalmente as mais utilizadas porque permitiam a maior precisão.





**Figura 4:** Reagentes e materiais necessários para preparar o papel de medição.

7. Quando as tiras estiverem secas, elas são armazenadas em sacos resseláveis.



**Figura 5:** Mistura resultante da solução de KI e amido em água destilada quente.



**Figura 6:** Tira coletada, com a qual se faz a medição, depois de exposta por 24 horas ao ar ambiente e imersa em água destilada.

O procedimento de medição e recolha de dados é simples. Consiste em expor as tiras ao ar ambiente, protegidas da luz solar, durante 12 ou 24 horas (neste caso, 24 horas podem ser preferíveis para se adaptar ao horário diário de ensino). A tira é então recolhida e humedecida com água destilada. Depois de reagir, muda de branco para roxo-azulado. A tonalidade é comparada com a da escala acima, de referência (ver Fig. 3). Em seguida, os alunos podem registar o valor e inseri-lo em uma folha em branco, que também fornecemos (ver Tabela 1).

**Tabela 1.** Lista de anotações

Exposição		Recolha		Valores		
Data	Hora	Data	Hora	Visual	O3Meter	Observações

### 5.1.2. Nível básico

Este nível difere do avançado relativamente à preparação das tiras porque evita a dificuldade de acesso a todos os materiais e parte do trabalho laboratorial necessário. Existe a opção de comprar as tiras a um fornecedor (por exemplo, Sigma-Aldrich “Potassium Iodide Starch Paper ref.37215”) e fazer medições com elas. Dessa forma, mesmo os alunos do primeiro ano do ensino médio podem realizar as experiências. A Fig. 7 compara tiras feitas por nós com tiras disponíveis comercialmente para destacar as diferenças. O restante da prática é igual ao nível avançado.



**Figura 7:** Comparação entre a tira de papel de medição preparada de acordo com o procedimento descrito acima (esquerda) e uma tira comercial(direita).



**Figura 8:** (Acima) Estefanía Sakharyk Lysyk, estudante do IES Alcántara (Alcantarilla, Murcia, Espanha), preparando as tiras de medição no laboratório. (Inferior) uma das tiras expostas ao ar.

## 5.2. Técnicas atuais

Os analisadores de ozono atuais, amplamente utilizados na monitorização da qualidade do ar, geralmente utilizam o método de absorção ultravioleta no comprimento de onda de 254 nm.

A técnica consiste em passar um pulso de luz através de uma amostra de ar que o aparelho aspirou do exterior. Do outro lado do instrumento, um fotodiodo mede a radiação que chega após passar pela amostra, dando um valor de ozono baseado no que foi absorvido.

Existem analisadores mais simples e acessíveis que podem ser utilizados para aplicações em um laboratório de ensino cujo princípio de medição é o de semicondutores sensíveis a gás (GSS).

Os valores de medição são geralmente dados em partes por bilhão (ppb) ou  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , referindo-se assim à quantidade de ozono numa amostra de ar.



**Figura 9:** Analisadores de ozono. (Esquerda) baseado em semicondutores sensíveis a gás; (direita) baseado em espectrometria de absorção molecular no ultravioleta.