

## Aplicação de Fotólise em Alimentos

Stülp, S.;\* de Carvalho, L. M.

Rev. Virtual Quim., 2015, 7 (1), 278-291. Data de publicação na Web: 19 de novembro de 2014

<http://www.uff.br/rvq>

### Application of Photolysis in Food Research

**Abstract:** This article aims to discuss relevant aspects related to photolysis and its relation to the food area. For this purpose, topics relating to different types of radiation are shown, the use of radiation incidence on the preparation and pre-treatment of analytical samples, the application of photolysis studies stability of foods and beverages (wine for example), and the use of photochemistry in wastewater treatment, specially effluent from the food industry.

**Keywords:** Photolysis; food products; pre-treatment; degradation.

### Resumo

O presente artigo tem por objetivo discutir aspectos relevantes relacionados à fotólise e sua relação com a área de alimentos. Para tanto, serão apresentados tópicos relativos aos diferentes tipos de radiação, a utilização da incidência de radiação no preparo e pré-tratamento de amostras analíticas, a aplicação da fotólise em estudos de estabilidade de alimentos e bebidas, dentre estes o vinho, e a utilização da fotoquímica no tratamento de efluentes, sendo que neste artigo serão demonstrados resultados de efluentes provenientes do setor alimentício.

**Palavras-chave:** Fotólise; alimentos; pré-tratamento; degradação.

\* Centro Universitário Univates, Avenida Avelino Tallini, 171, Bairro Universitário, CEP 95900-000, Lajeado-RS, Brasil.

✉ [stulp@univates.br](mailto:stulp@univates.br)

DOI: [10.5935/1984-6835.20150014](https://doi.org/10.5935/1984-6835.20150014)

## Aplicação de Fotólise em Alimentos

Simone Stulp,<sup>\*,a</sup> Leandro M. de Carvalho<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Centro Universitário Univates, Avenida Avelino Tallini, 171, Bairro Universitário, CEP 95900-000, Lajeado-RS, Brasil.

<sup>b</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Laboratório de Análises Químicas – Lachem.

\* [stulp@univates.br](mailto:stulp@univates.br)

*Recebido em 19 de novembro de 2014. Aceito para publicação em 19 de novembro de 2014*

1. Introdução
2. Tipos de radiação e fontes
  - 2.1. Lâmpadas de baixa pressão
  - 2.2. Lâmpadas de média e alta pressão
3. Pré-tratamento de amostras com alto teor de matéria orgânica empregando fotólise com radiação UV
  - 3.1. Reatores fotoquímicos para a decomposição de amostras
4. Aplicação de Fotólise em amostras alimentícias
5. Aplicação de Fotólise no tratamento de efluentes provenientes do setor alimentício
6. Conclusões

### 1. Introdução

A fotólise pode ser definida como uma reação de decomposição que ocorre na presença de uma fonte de radiação.<sup>1</sup> Quando a luz visível ou ultravioleta (UV) é absorvida por uma molécula, o resultado pode ser que a molécula se comporte como se fosse uma espécie inteiramente nova, com propriedades químicas que são diferentes das moléculas de origem.

Podem ser citadas diferentes aplicações da fotólise na área química, dentre elas a ocorrência de reações orgânicas modificadas

com a incidência de luz,<sup>2</sup> bem como a aplicação desta no tratamento de efluentes (Figura 1).<sup>3</sup>

A utilização da fotólise, ou incidência de radiação luminosa, em estudos e processos envolvendo a cadeia de processamento de alimentos, pode englobar diferentes aplicações (Figura 1): a fotólise pode ser utilizada em processos de descontaminação de alimentos,<sup>4</sup> no preparo de amostras para determinações analíticas,<sup>5</sup> no tratamento de resíduos e poluentes,<sup>6</sup> bem como em estudos que buscam avaliar a proteção da embalagem frente à incidência de radiação, assim como o efeito produzido sobre o

alimento quando este é exposto à radiação,<sup>7</sup> simulando condições de transporte e armazenamento.

Diante das questões apresentadas, o objetivo deste artigo é discutir aspectos relevantes relacionados à fotólise e sua relação com a área de alimentos. Para tanto, serão apresentados tópicos relativos aos diferentes tipos de radiação, a utilização da

incidência de radiação no preparo e pré-tratamento de amostras analíticas, a aplicação da fotólise em estudos de estabilidade de alimentos e bebidas, e a utilização da fotoquímica no tratamento de efluentes, sendo que neste artigo será enfatizado os efluentes provenientes do setor alimentício.

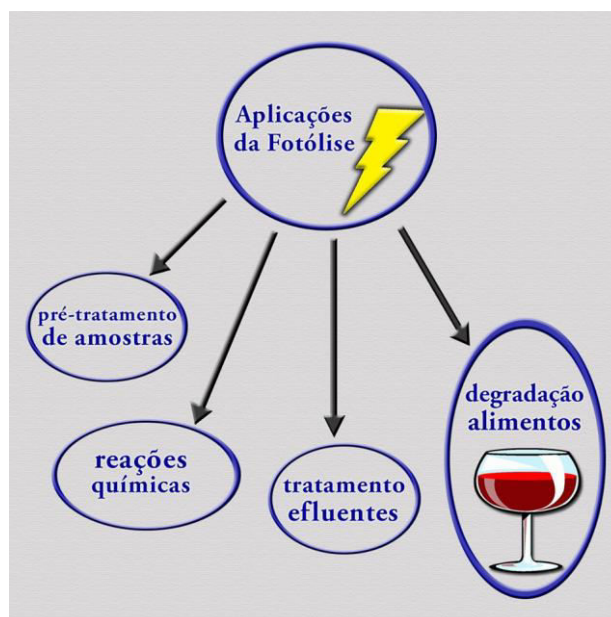


Figura 1. Diferentes aplicações na área química e de alimentos

## 2. Tipos de radiação e fontes

Os comprimentos de onda da radiação UV estendem-se de 40 a 400 nm e podem ser divididas em: UV A (400-315 nm), UV B (315-280 nm) e UV C (<280 nm).<sup>8</sup> Como pode ser observado na Figura 2, o espectro do mercúrio (Hg) é rico em linhas na faixa de comprimentos de onda do ultravioleta.

A energia de transição de átomos de Hg

do estado menos excitado ( $6^3P_1$ ) para o estado fundamental ( $6^1S_0$ ) corresponde ao comprimento de onda de 253,7 nm, que é uma linha de ressonância. O mercúrio é um elemento relativamente inerte, não reage com o material do eletrodo e nem com o material do bulbo,<sup>9</sup> sendo que estes podem ser constituídos, respectivamente, de tungstênio, vidro (bulbo externo) e quartzo (bulbo interno).<sup>10,11</sup> Na Figura 3, tem-se a representação da parte interna de uma lâmpada de mercúrio.

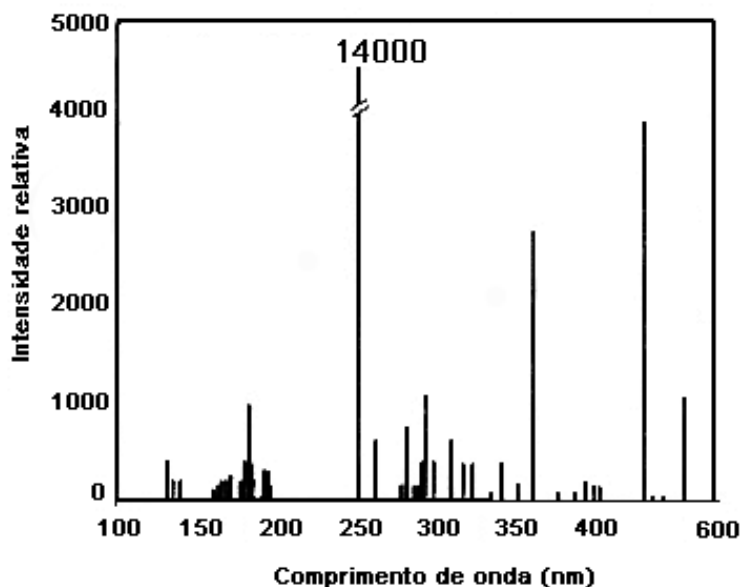


Figura 2. Espectro UV-Vis da lâmpada de mercúrio

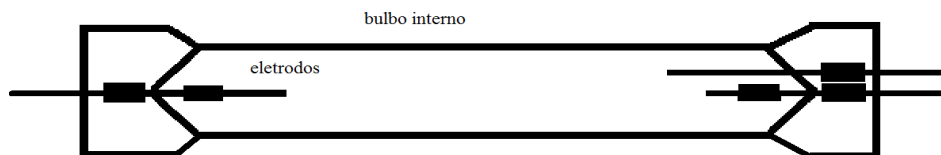
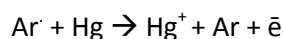
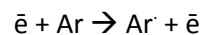


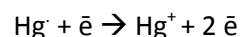
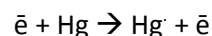
Figura 3. Representação esquemática da parte interna de uma lâmpada de mercúrio

Além de vapores de mercúrio, as lâmpadas de mercúrio contém gás nobre, geralmente argônio (Ar). Embora esse não participe diretamente na geração do fóton, ele contribui para o aumento do número de correntes transportadoras de elétrons e íons. Numa colisão elástica entre um elétron e um átomo, uma parte da energia do elétron é transmitida para o átomo causando sua excitação e iniciando os processos ocorridos na lâmpada. Este pode ser descrito através das seguintes equações:

- durante a ignição na lâmpada:

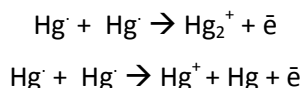


- durante o funcionamento da lâmpada:



Quando os elétrons não transferem energia suficiente para a reação ocorrer num único passo, o processo de ionização

acontece num passo discreto.<sup>12</sup> Em lâmpadas com maior pressão de vapor, as reações que ocorrem são as seguintes:

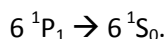


Um parâmetro característico das lâmpadas de mercúrio e frequentemente utilizado para dividi-las em dois grupos é a pressão de vapor do Hg. Portanto, lâmpadas de mercúrio são divididas em: lâmpadas de baixa pressão (pressão de Hg 0,1-1 Pa ( $10^{-3}$  –  $10^{-2}$  Torr)) e lâmpadas de alta pressão (pressão de Hg  $> 0,1$  MPa (1 atm)). Entretanto, pode-se ainda detalhar mais esta divisão separando em lâmpadas de média pressão (cerca de 0,1 MPa) e lâmpadas de alta pressão (cerca de 10 MPa). A fotólise do  $\text{H}_2\text{O}_2$  por lâmpada de mercúrio de alta pressão, por exemplo, ocorre devido à reação de fótons de Hg de comprimentos de onda de 302 a 313 nm.<sup>13, 14</sup>

## 2.1 Lâmpadas de baixa pressão

Este tipo de lâmpada de Hg é em forma de um longo tubo feito de vidro. As lâmpadas tem 1 m de comprimento de 15-40 mm de diâmetro. No final de cada lâmpada há um eletrodo de tungstênio (W) embutido. O gás armazenado no bulbo da lâmpada contém uma mistura de vapores de Hg (0,1-1 Pa) e um gás nobre (Ar sob pressão de 100 Pa). Uma gota de Hg é introduzida na lâmpada e a maior parte permanece líquida durante a operação da lâmpada. Os vapores de Hg formados permanecem em equilíbrio com o líquido, sendo que a determinação da quantidade de mercúrio presente é complexa em função da formação de novas espécies devido a interações do mercúrio.<sup>10</sup>

O espectro da lâmpada de baixa pressão consiste basicamente de 2 linhas: a linha de ressonância a 253,7 nm da transição  $6^3\text{P}_1 \rightarrow 6^1\text{S}_0$  e a linha 184,9 nm correspondendo a transição



As lâmpadas de baixa pressão tem um tempo de operação longo de 5000-10000 h, embora, o uso frequente da lâmpada o torne menor. Sua potência máxima é de 60 W. A eficiência de uma lâmpada de baixa pressão em transformar energia elétrica em irradiação por ressonância depende dos seguintes parâmetros: temperatura, pressão do gás nobre, geometria da lâmpada, intensidade e frequência de uso. A eficiência de lâmpadas de baixa pressão fica na faixa UV C de radiação, equivalente a 40 %.

Um tipo especial de lâmpada de baixa pressão é a chamada lâmpada de luz negra fluorescente. As paredes dentro da lâmpada são revestidas com substância fluorescente, por exemplo, o fósforo (P) que absorve a radiação de 254 nm e emite a radiação em torno de 365 nm. O material de vidro usado para as paredes não transmitem a radiação de comprimentos de onda menores, mas permite a radiação de comprimentos de onda maiores passar através dele. Este tipo de lâmpada é frequentemente aplicada para oxidação fotocatalítica de substâncias orgânicas em soluções com  $\text{TiO}_2$  como catalisador.<sup>15</sup>

## 2.2. Lâmpadas de média e alta pressão

Estas lâmpadas são mais curtas e menores que as lâmpadas de baixa pressão com igual poder. Elas têm 10-150 cm de comprimento e 10-40 mm de diâmetro. Lâmpadas mais curtas também são produzidas e são usadas para aplicações especiais.

O plasma à temperatura de operação da lâmpada contém certo número de átomos excitados. As transições destes níveis somam-se à energia irradiada. O espectro da lâmpada de média pressão é mais rico que o espectro da lâmpada de baixa pressão. Além das linhas de emissão única, também contém uma emissão contínua, especialmente na faixa UV C. A relação entre a energia consumida pela lâmpada e suas contribuições para cada faixa UV são as seguintes:

UV C (180-280 nm) 16 %;

UV B (280-315 nm) 7 %;

UV A (315-400 nm) 7 %.

A soma destas frações se dá somente em 30 % da potência da lâmpada. 15 % são convertidos em radiação visível e 35 % em radiação térmica (IR e radiação das paredes da lâmpada). O restante (20 %) é perdido no processo de condução de calor nos eletrodos. O tempo de operação deste tipo de lâmpada é cerca de 2000 h, sendo que as lâmpadas de vapor de mercúrio podem apresentar diferentes potências.

Estudos mais recentes demonstram progresso nas aplicações das lâmpadas de mercúrio de alta pressão, principalmente na área industrial. Um estudo realizado por Morimoto e colaboradores<sup>14</sup> mostra alguns tipos de lâmpadas normalmente usadas na demanda industrial como, a lâmpada de super-alta pressão que possui um curto arco de Hg e é utilizada nas indústrias para fornecer energia principalmente no UV-visível. O tamanho pequeno do arco da lâmpada tem a vantagem de ser adaptado em sistemas de microequipamentos ópticos e na fabricação destes equipamentos. As lâmpadas de super-alta pressão são úteis e usadas em processo de foto-litografia e em semicondutores utilizados em processos industriais.

### 3. Pré-tratamento de amostras com alto teor de matéria orgânica empregando fotólise com radiação UV

A matéria orgânica presente em amostras complexas interfere na determinação de elementos por diferentes métodos analíticos. Por esta razão, a preparação adequada da amostra, em particular a eliminação da matéria orgânica, é de grande importância no método analítico. A expressão pré-

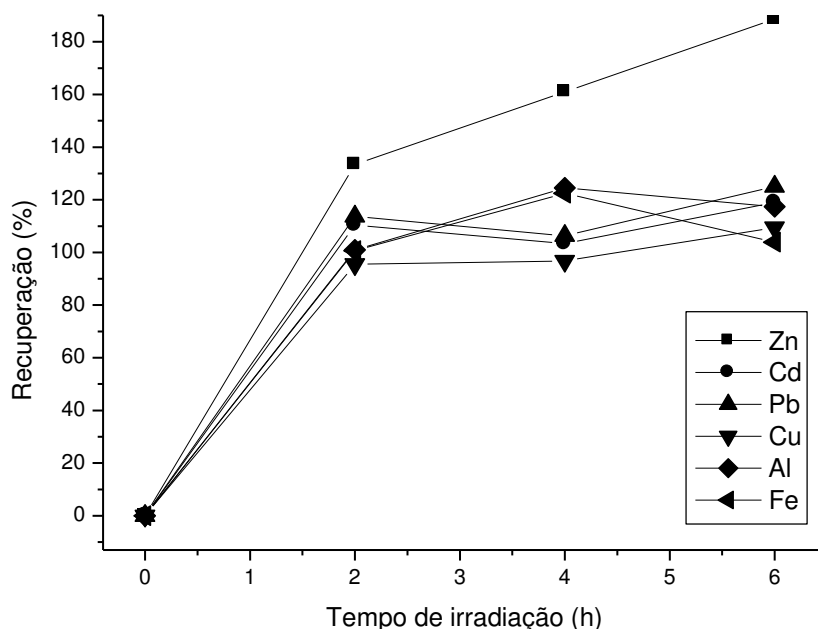
tratamento da amostra indica o conjunto de procedimentos necessários para converter física e quimicamente uma amostra em uma forma que permita efetuar, dentre as limitações impostas pela natureza e a morfologia da mesma, a determinação do(s) analito(s) e realizar sua quantificação o quanto mais precisa e exata.<sup>16</sup>

Um dos métodos mais eficientes empregado para a liberação de metais ligados à matriz orgânica envolve a irradiação da amostra com radiação ultravioleta (digestão UV) por um determinado tempo. A destruição da matéria orgânica pela radiação UV é bem conhecida. Água e ar são comumente desinfetados usando lâmpadas de mercúrio. Elas também têm sido usadas na esterilização de vários objetos, água em indústrias de cosméticos, indústrias eletrônicas, piscinas, etc.<sup>17,18</sup>

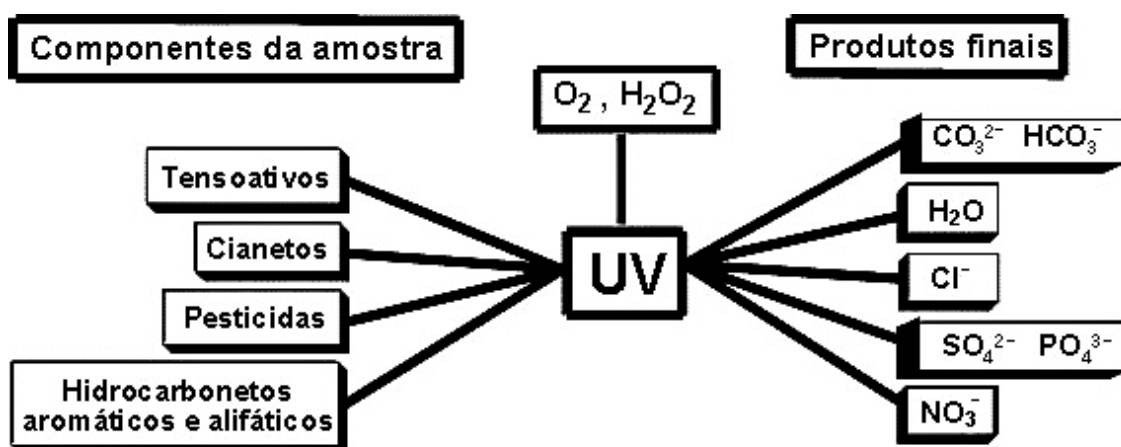
Os mecanismos de decomposição da matéria orgânica por radiação UV têm sido descritos para muitos compostos orgânicos, por exemplo: DDT (1,1(4,4'-diclorofenil) 2,2,2-tricloroetano), HCB (hexaclorobenzeno), PCP (pentaclorofenol) e outros que decompõem depois da absorção da radiação na região UV de 180-250 nm.<sup>8</sup> Além destes exemplos, a composição orgânica da amostra a ser analisada interfere nas medidas analíticas por interferir no sinal analítico gerado na etapa de detecção, a exemplo dos detectores óticos e eletroquímicos. Como exemplos de interferência, compostos não degradados na etapa de preparo da amostra podem gerar um aumento ou diminuição na absorção de luz nos comprimentos de onda do analito em métodos espectroscópicos (espectrometria atômica ou molecular), ou ainda adsorção na superfície de eletrodos na detecção eletroquímica (voltametria ou amperometria). A Figura 4 abaixo ilustra a interferência gerada por ácidos húmicos na determinação de metais por voltametria, bem como a eliminação desta após a decomposição da amostra com radiação UV.<sup>19</sup>

Como pode se observar, a decomposição fotoquímica da amostra em lâmpada de mercúrio possibilita a eliminação total da interferência da amostra, uma vez que a os húmicos são totalmente degradados a

espécies minerais não-eletoativas. A Figura 5 ilustra algumas classes de compostos que podem ser decompostas pela ação da radiação UV e seus produtos de decomposição finais formados em solução.<sup>20</sup>



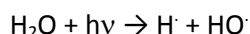
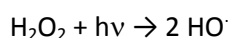
**Figura 4.** Estudo da eficiência de mineralização da solução (10 mL) de ácido húmico (100 mg L<sup>-1</sup>) a partir de ensaios de recuperação dos metais (25 µg L<sup>-1</sup>) adicionados às amostras. Condições de irradiação: lâmpada de mercúrio de alta pressão (400 W); tempo de irradiação: 2 h (90 °C); reagentes adicionados: 50 µL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30% e 50 µL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado. Adaptado de Carvalho *et al.*<sup>19</sup>



**Figura 5.** Exemplos de classes de compostos que sofrem decomposição pela radiação UV



Na presença de uma fonte contínua e intensa de radiação ultravioleta, a fotodegradação da matéria orgânica pode ser bastante rápida e eficiente.<sup>8,21</sup> A adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em solução pode funcionar como uma fonte de oxigênio molecular e de radicais hidroxila, que são produzidos a partir da decomposição fotoquímica do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.<sup>22-24</sup> Nesse sentido, a formação de radicais HO<sup>·</sup> e sua subsequente reação com a matéria orgânica é uma das formas naturais de biodegradação de compostos.



Os radicais HO<sup>·</sup> formados possuem um alto potencial de oxidação (+ 2,8 V) e podem, com isso, provocar a oxidação de um grande número de moléculas orgânicas.<sup>25</sup>

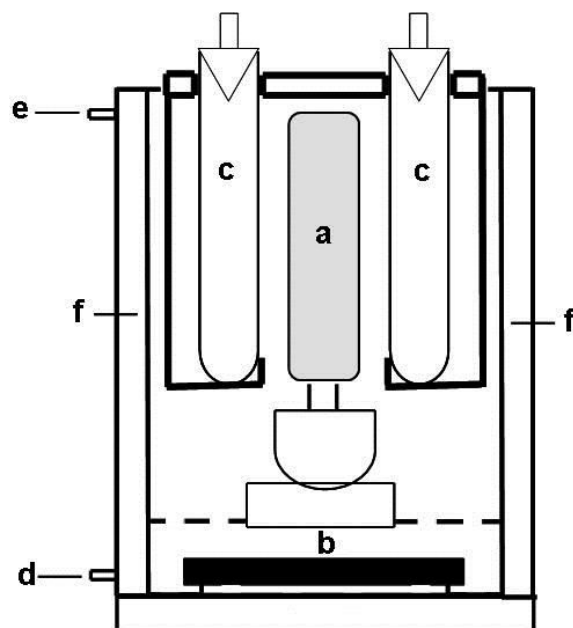
### 3.1. Reatores fotoquímicos para a decomposição de amostras

Reações radicalares podem ser geradas em reatores fotoquímicos, os quais têm sido desenvolvidos principalmente para a decomposição de amostras e o tratamento de resíduos industriais, visto que promovem a degradação da matéria orgânica.<sup>19</sup> Carvalho e colaboradores<sup>19</sup> desenvolveram um reator fotoquímico, baseado num modelo

comercial, que possibilita a irradiação simultânea de 12 amostras, as quais são mantidas em temperatura controlada por um termo-regulador durante o processo de mineralização sob circulação de ar. O sistema é provido de uma lâmpada de mercúrio de alta pressão (400 W) utilizada em iluminação pública, cujo bulbo externo foi removido para total exposição das amostras à radiação UV (Figura 6).

A decomposição de amostras empregando degradação fotolítica e fotoquímica da matéria tem sido empregada para a determinação de elementos por métodos voltamétricos e espectrometria de absorção atômica em amostras de relevância ambiental, clínica e nutricional.<sup>19, 26</sup> O estudo de contaminantes metálicos em alimentos e a sua decomposição por influência da radiação tem sido estudada para amostras de bebidas como vinhos e cerveja.<sup>27</sup> Amostras sólidas tem sido pouco exploradas enquanto matrizes decompostas por radiação UV (via fotolítica e/ou radicalar). No entanto, soluções para nutrição parenteral com alta concentração de aminoácidos já foram estudadas.<sup>26</sup> Neste trabalho, o método de decomposição empregou um reator fotoquímico com lâmpada de mercúrio, onde misturas complexas contendo diferentes aminoácidos foram decompostas no reator após 10 h de irradiação. A etapa de decomposição fotoquímica se mostrou eficiente para a determinação dos metais Zn, Cd, Pb e Cu.





**Figura 6.** Esquema representativo do digestor fotoquímico empregado para irradiação com lâmpadas de mercúrio; **(a)** Lâmpada de mercúrio de alta pressão; **(b)** Ventilador para refrigeração; **(c)** Tubos de quartzo com capacidade para 10 mL de amostra; **(d)** Entrada de água; **(e)** Saída de água; **(f)** Canal de circulação de água para o resfriamento do sistema<sup>19</sup>

#### 4. Aplicação de Fotólise em amostras alimentícias

Estudos de degradação e estabilidade de amostras alimentícias podem ser realizados com o auxílio de incidência de radiação UV ou visível por um determinado período de tempo, simulando sistemas reais de exposição dos alimentos à radiação solar. Estes estudos podem prever ou explicar alterações em produtos alimentícios

ocorridas quando estes são expostos à radiação solar.<sup>28</sup>

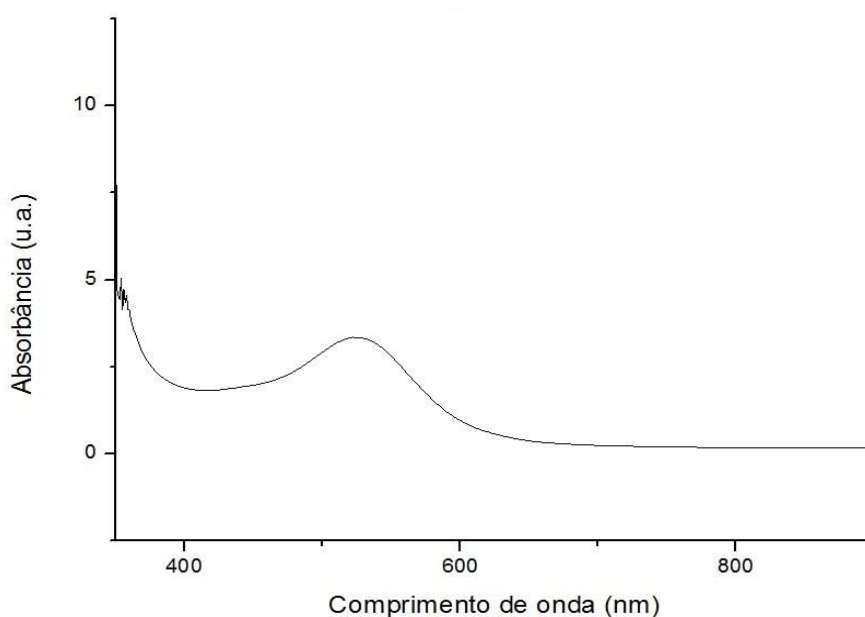
Em um estudo realizado junto ao Núcleo de Eletrofotocímica e Materiais Poliméricos – NEMP/Univates, amostras de vinho tinto armazenadas em embalagens PET (polietilenotereftalato) foram submetidas à radiação *daylight* por um determinado período de tempo. Neste estudo foram utilizadas duas lâmpadas de 36 W, em reator fechado, conforme Figura 7.



**Figura 7.** Reator utilizado para avaliação de degradação alimentícia com incidência de radiação luminosa

As amostras foram analisadas por varreduras espectrofotométricas (Perkin Elmer), na região UV e visível, sendo que na

Figura 8 é possível verificar a varredura característica das amostras de vinho tinto analisadas.



**Figura 8.** Varredura espectrofotométrica de amostra de vinho tinto

Avaliando-se a Figura 8, verifica-se pico característico destas amostras em 520 nm, concordante com resultados previamente publicados,<sup>29</sup> sendo que neste comprimento de onda compostos presentes no vinho que apresentam coloração são detectados.

Ainda por meio das análises espectrofotométricas, a avaliação das absorbâncias medidas em diferentes comprimentos de onda (420 nm, 520 nm e 620 nm) nos permite determinar o Índice de Cor (IC) e a Tonalidade (T), por meio das

equações 1 e 2:<sup>30</sup>

$$IC = Ab.420 \text{ nm} + Ab.520 \text{ nm} + Ab.620 \text{ nm} \quad (1)$$

$$T = 420 \text{ nm}/Ab. 520 \text{ nm} \quad (2)$$

sendo IC o Índice de Cor, T a Tonalidade, e Ab. o valor de absorvância nos diferentes comprimentos de onda.

Com base nas equações apresentadas (Equação 1 e 2), no estudo realizado e nas avaliações espectrofotométricas de amostras de vinho tinto, antes e após exposição à radiação *daylight* em embalagens PET, tem-se que o valor de IC antes da exposição é de  $3,51 \pm 0,02$  e após a exposição é de  $3,26 \pm 0,01$ . Já a Tonalidade (T), antes da exposição foi de  $0,58 \pm 0,01$  e após a exposição à radiação *daylight* foi de  $0,59 \pm 0,02$ . Comparando estes resultados com outras avaliações realizadas em vinhos jovens e maduros,<sup>29</sup> pode-se inferir que as alterações de valores de IC e T são devido a variações de concentração em termos de composição química, da complexa mistura de substâncias presentes no vinho, podendo ser citados pigmentos hidrossolúveis de natureza fenólica, dentre eles as antocianinas, e à formação de produtos relacionados ao processo de envelhecimento.

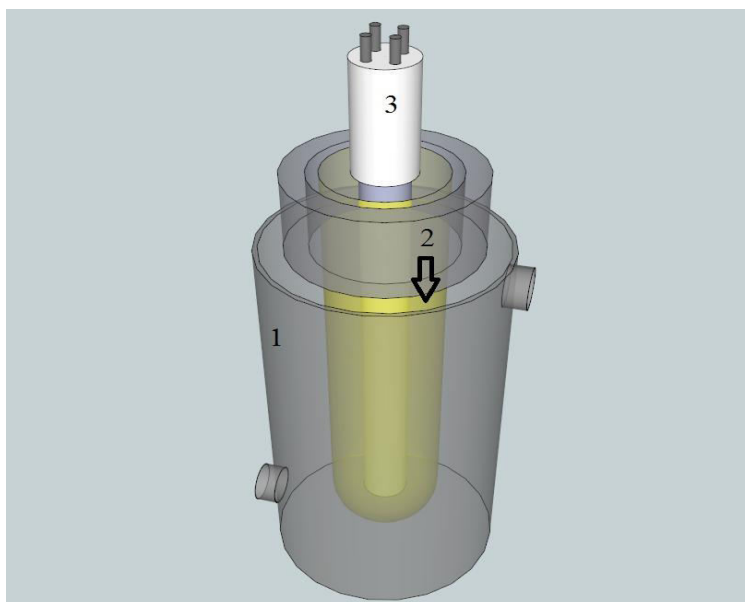
Desta forma, quando comparadas diferentes embalagens e armazenamentos de vinhos distintos, pode-se realizar avaliações que sirvam de embasamento para estimar o tempo de prateleira do produto sem a

degradação do mesmo. Estas avaliações igualmente podem ser aplicadas a estudos envolvendo outros tipos de alimentos e bebidas.

## 5. Aplicação de Fotólise no tratamento de efluentes provenientes do setor alimentício

A incidência de radiação UV associada à presença de peróxido de hidrogênio pode ser utilizada como um tratamento fotoquímico, aplicável a diferentes efluentes, podendo estes serem constituídos de altas concentrações de matéria orgânica e forte coloração. Dentre os efluentes que podem ser tratados por este tratamento, estão os provenientes de indústrias alimentícias,<sup>31, 32</sup> pelo fato de ocorrer, durante o processamento dos alimentos, a adição de corantes naturais ou sintéticos, gerando, portanto, efluentes com as características acima mencionadas.<sup>33</sup>

Em estudo realizado no NEMP/Univates, um efluente sintético simulando um efluente real de indústria alimentícia foi estudado. Neste estudo, a aplicação de radiação UV associada à adição de peróxido de hidrogênio foi avaliada, em célula de fluxo ascendente com um filamento de lâmpada de vapor de mercúrio de 400 W (alta pressão), conforme Figura 9. Antes e após este tratamento foram avaliados os parâmetros: pH, cor, Carbono Orgânico Total (COT) e toxicidade<sup>34</sup> com sementes de *Lactuca sativa*.



**Figura 9.** Célula de vidro (1) utilizada em tratamento com radiação UV, com tubo de quartzo (2) e filamento (3) de lâmpada de vapor de mercúrio 400 W

Com a aplicação deste tratamento obteve-se 100 % de remoção de coloração e 74 % de remoção de COT, sendo que a concentração inicial era de 187,40 mg/L. Já em termos de toxicidade, o efluente bruto (sem submissão ao tratamento UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) apresentou germinação de 42,54% das sementes, enquanto que após a aplicação do tratamento, 74,49 % das sementes de *L. sativa* germinaram, indicando diminuição da toxicidade do efluente, fator este extremamente relevante em estudos ambientais.

## 6. Conclusões

Diante do exposto no presente artigo, algumas aplicações da fotólise relacionadas à área de alimentos foram abordadas e discutidas quanto a diferentes pontos da cadeia alimentícia, desde a aplicação em análise de alimentos, avaliação de degradação de produtos alimentícios, bem como a aplicação da radiação no tratamento de efluentes provenientes de indústrias do ramo alimentício.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Fapergs e ao CNPq pelo apoio recebido para a realização de projetos de pesquisa relacionados à temática fotólise e alimentos.

## Referências Bibliográficas

- <sup>1</sup> Wayne, C. E.; Wayne, R. P.; *Photochemistry*, 2a. ed., Oxford Science Publications, 2005.
- <sup>2</sup> Netto-Ferreira, J. C.; Scaiano, J. C. Fotólise no estado estacionário e com pulso de laser de 1-benzociclanonas e de seus derivados  $\alpha,\alpha$ -dimetilados. *Química Nova* **1999**, *22*, 516. [CrossRef]
- <sup>3</sup> Salgado, B. C. B.; Nogueira, M. I. C.; Rodrigues, K. A.; Sampaio, G. M. M. S.; Buarque, H. L. B.; Araújo, R. S. Descoloração de efluentes aquosos sintéticos e têxtil contendo corantes índigo e azo via processos Fenton e foto-assistidos (UV e UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). *Engenharia Sanitária e Ambiental* **2009**, *14*, 1. [CrossRef]
- <sup>4</sup> Bermúdez-Aguirre, D.; Barbosa-Cánovas, G.

- V. Disinfection of selected vegetables under nonthermal treatments: Chlorine, acid citric, ultraviolet light and ozone. *Food Control* **2013**, *29*, 82. [CrossRef]
- <sup>5</sup> Bendicho, C.; Pena, F.; Costas, M.; Gil, S.; Lavilla, I. Photochemistry-based sample treatments as greener approaches for trace-element analysis and speciation. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* **2010**, *29*, 681. [CrossRef]
- <sup>6</sup> Durán, A.; Monteagudo, J. M.; Sanmartín, I.; Gómez, P. Homogeneous sonophotolysis of food processing industry wastewater: Study of synergistic effects, mineralization and toxicity removal. *Ultrasonics Sonochemistry* **2013**, *20*, 785. [CrossRef] [PubMed]
- <sup>7</sup> Mestdagh, F.; de Meulenaer, B.; De Clippeler, J.; Devlieghere, F.; Huyghebaert, A. Protective Influence of Several Packaging Materials on Light Oxidation of Milk. *Journal of Dairy Science* **2005**, *88*, 499. [CrossRef]
- <sup>8</sup> Golimowski, J.; Golimowska, K. UV-photooxidation as pretreatment step in inorganic analysis of environmental samples. *Analytica Chimica Acta* **1996**, *325*, 111. [CrossRef]
- <sup>9</sup> Locatelli, C. Simultaneous square wave stripping voltammetric determination of platinum group metals (PGMs) and lead at trace and ultratrace concentration level application to surface water. *Analytica Chimica Acta* **2006**, *557*, 70. [CrossRef]
- <sup>10</sup> Durão Júnior, W. A.; Windmöller, C. C. A questão do mercúrio em lâmpadas fluorescentes, *Química Nova na Escola* **2008**, *28*, 15. [Link]
- <sup>11</sup> Santos, E. R.; Correia, F. C.; Wang, S. H.; Hidalgo, P.; Fonseca, F. J.; Burini Júnior, E. C.; de Andrade, A. M. Reator de UV-Ozônio com lâmpada a vapor de mercúrio a alta pressão modificada para tratamento superficial de óxidos transparentes condutivos utilizados em dispositivos poliméricos eletroluminescentes. *Química Nova* **2010**, *33*, 1779. [CrossRef]
- <sup>12</sup> Azevedo, E. R.; Nunes, L. A. O. Construção de um espectrógrafo de projeção e sua utilização em demonstrações de espectroscopia óptica. *Química Nova* **2008**, *31*, 2199. [CrossRef]
- <sup>13</sup> Wang, F.; Haag, W. Comparison of commercial UV lamps for radical oxidation and direct photolysis in water. Lawrence Livermore National Laboratory 1999, p. 1-13. [Link]
- <sup>14</sup> Morimoto, Y.; Sumitomo, T.; Yoshioka, M.; Takemura, T. Recent progress on UV lamps for industries. Industry Applications Conference, 2004. 39th IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2004 IEEE 2004, p. 1008-1015. [CrossRef]
- <sup>15</sup> Garmatz, J. C.; *Dissertação de mestrado*, Universidade Federal de Santa Maria, 2007. [Link]
- <sup>16</sup> Cavicchioli, A.; Gutz, I. G. R. O uso de radiação ultravioleta para o pré-tratamento de amostras em análise inorgânica. *Química Nova* **2003**, *26*, 913. [CrossRef]
- <sup>17</sup> Mill, T.; Hendry, D. G.; Richardson, H.; Free-radical oxidants in natural-waters. *Science* **1980**, *207*, 886. [CrossRef] [PubMed]
- <sup>18</sup> Klöpffer, W.; Kohl, E. G. Bimolecular OH rate constants of organic compounds in solution – Measurements in water using hydrogen peroxide as an OH source. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **1991**, *22*, 67. [CrossRef]
- <sup>19</sup> Carvalho, L. M.; Spengler, C. Garmatz, J. C.; Nascimento, P. C.; Bohrer, D.; Del-Fabro, L.; Radis, G.; Bolli, A. A. Determinação voltamétrica de metais em águas e fluidos biológicos empregando mineralização de amostras com radiação ultravioleta. *Química Nova* **2008**, *31*, 1336. [CrossRef]
- <sup>20</sup> Calvosa, L.; Monteverdi, A.; Rindome, B.; Riva, G. Ozone oxidation of compounds resistant to biological degradation. *Water Research* **1991**, *25*, 985. [CrossRef]
- <sup>21</sup> Achterberg, E. P.; Van den Berg, C. M. G. In-line ultraviolet-digestion of natural water samples for trace metal determination using an automated voltammetric system. *Analytica Chimica Acta* **1994**, *291*, 213. [CrossRef]
- <sup>22</sup> Sona, M.; Baus, C.; Brauch, H. J. UV

- irradiation versus combined UV/hydrogen peroxide and UV/ozone treatment for the removal of persistent organic pollutants from water. *Internacional Conference Ozone and UV*, 69-76, 2006. [[Link](#)]
- <sup>23</sup> Scully, N. M.; McQueen, D. J.; Lean, D. R. S.; Cooper, W. J. Hydrogen peroxide formation: The interaction of ultraviolet radiation and dissolved organic carbon in lake waters along a 43-75 °N gradient. *Limnology and Oceanography* **1996**, *41*, 540. [[CrossRef](#)]
- <sup>24</sup> Hester, R. E.; Harrison, R. M.; Whitehead, R. F.; de More, S. Marine photochemistry and UV radiation. *Environmental Science and Technology* **2000**, *14*, 37. [[Link](#)]
- <sup>25</sup> Araújo, F. V. F.; Yokoyama, L. Remoção de cor em soluções de corantes reativos por oxidação com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV. *Química Nova* **2006**, *29*, 11. [[CrossRef](#)]
- <sup>26</sup> Nascimento, P. C.; Marques, M. S.; Hilgemann, M.; Carvalho, L. M.; Bohrer, D.; Pomblum, S. C. G.; Schirmer, S. Simultaneous Determination of Cadmium, Copper, Lead and Zinc in Amino Acid Parenteral Nutrition Solutions by Anodic Stripping Voltammetry and Sample Digestion by UV Irradiation. *Analytical Letters* **2006**, *39*, 777. [[CrossRef](#)]
- <sup>27</sup> Schwedt, G.; *The Essential Guide to Analytical Chemistry*, John Wiley & Sons Ltd.: Chichester, 1997. [[PubMed](#)]
- <sup>28</sup> Danieli, F.; Stülp, S. Avaliação da estabilidade de bebida mista de frutas cítricas exposta à radiação ultra violeta. *Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos* **2011**, *29*, 63. [[Link](#)]
- <sup>29</sup> Versari, A.; Parpinello, G. P.; Mattioli, A. U. Characterisation of colour components and polymeric pigments of comercial red wines by using selected UV-vis spectrophometric methods. *South African Journal of Enology and Viticulture* **2007**, *28*, 1. [[Link](#)]
- <sup>30</sup> Gallice, W. C.; Messerschmidt, I.; Peralta-Zamora, P. Caracterização espectroscópica multivariada do potencial antioxidante de vinhos. *Química Nova* **2011**, *34*, 397. [[CrossRef](#)]
- <sup>31</sup> Santos, T. C.; Zocolo, G. J.; Morales, D. A.; Umbuzeiro, G. A.; Zanoni, M. V. B. Assessment of the breakdown products of solar/UV induced photolytic degradation of food dye tartrazine. *Food and Chemical Toxicology* **2014**, *68*, 307. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- <sup>32</sup> Marmitt, S.; Pirotta, L. V.; Stülp, S. Aplicação de fotólise direta e UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a efluente sintético contendo diferentes corantes alimentícios. *Química Nova* **2010**, *33*, 384. [[CrossRef](#)]
- <sup>33</sup> Barros, W. R. P.; Franco, P.; Steter, J. R.; Rocha, R. S.; Lanza, M. R. V. Electro-Fenton degradation of the food dye amaranth using a gas diffusion electrode modified with cobalt (II) phthalocyanine. *Journal of Electroanalytical Chemistry* **2014**, *722*, 46. [[CrossRef](#)]
- <sup>34</sup> Garcia, J. C.; Simionato, J. I.; Almeida, V. C.; Palácio, S. M.; Rossi, F. L.; Schneiderb, M. V.; de Souza, N. E. Evolutive follow-up of the photocatalytic degradation of real textile effluents in TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> systems and their toxic effects on *Lactuca sativa* seedlings. *Journal of the Brazilian Chemical Society* **2009**, *20*, 1589. [[CrossRef](#)]