

## **Avaliação do efeito do plasma frio na remoção de pesticida em águas para abastecimento público**

### ***Evaluation of the effect of non thermal plasma on pesticide removal in public water supply***

**João Pedro Silvestri Ferreira, acadêmico do curso de Engenharia Química, UNISUL - Universidade do Sul de Santa Catarina.**

jp1998joao@gmail.com

**Rodrigo Menezes Wheeler, Mestrando do curso de pós-graduação de Ciências Ambientais, UNISUL.**

rodrigomenezeswheeler@gmail.com

**Elisa Helena Siegel Moecke, Doutora em Química e professora do PPGCA/UNISUL.**  
smoecke@gmail.com

#### **Resumo**

A crescente utilização de agrotóxicos apresenta um risco ao meio ambiente. Uma vez que estes contaminantes não são eliminados através do método convencional de tratamento de efluentes, diversos métodos foram estudados, como por exemplo, a utilização do plasma não térmico (PNT). Para avaliar a eficiência do PNT na degradação do pesticida Ridomil® em meio líquido, foi preparado 3 concentrações diferentes, o solo contaminado com as amostras preparadas do pesticida e as minhocas da espécie *Eisenia Fetida* como bioindicadores. No teste de fuga, observa-se que na concentração de 6,5 g/L não houve rejeição do solo e quando expostas por 15 e 30 min. ao PNT houve rejeição, enquanto às submetidas por 45 min., houve grande aceitação. No teste crônico, na concentração de 9,375 g/L e após passar pelo PNT durante 30 min., foi observado uma menor perda de peso das minhocas, assim como as mudanças na condutividade e na concentração de sulfato nas soluções, indicando que o plasma atua na estrutura química do pesticida.

**Palavras-chave:** Plasma não Térmico; Ridomil®; *Eisenia Fetida*

#### **Abstract**

*The increasing use of pesticides presents a risk to the environment. Since these contaminants are not eliminated through the conventional effluent treatment method, several methods have been studied, such as the use of non-thermal plasma (NTP). To evaluate the efficiency of NTP in the degradation of the pesticide Ridomil® in liquid, 3 different concentrations were prepared, the soil contaminated with the samples prepared from the pesticide and the earthworms of the species *Eisenia Fetida* as bioindicators. In the escape test, it was observed that at the concentration of 6.5 g/L there was no rejection of the soil and when exposed for 15 and 30 min. to the PNT there was*

*rejection, while the ones submitted for 45 min., there was great acceptance. In the chronic test, at the concentration of 9.375 g/L and after passing the NTP for 30 min, a lower weight loss of the earthworms was observed, as well as the changes in conductivity and sulfate concentration in the solutions, indicating that plasma acts on the chemical structure of the pesticide.*

**Keywords:** *Non-thermal Plasma; Ridomil®; Eisenia Fetida*

## 1. Introdução

Os agrotóxicos também conhecidos como pesticidas são amplamente utilizados na agricultura para controlar a infestação na agricultura (BAI et al., 2011). Os benefícios do uso de pesticidas incluem redução das perdas de culturas e aumento da produção por unidade de área de terra. No entanto, o uso de pesticidas é frequentemente associado a riscos para a saúde humana e animal, juntamente com efeitos prejudiciais ao meio ambiente (AKTAR et al., 2009).

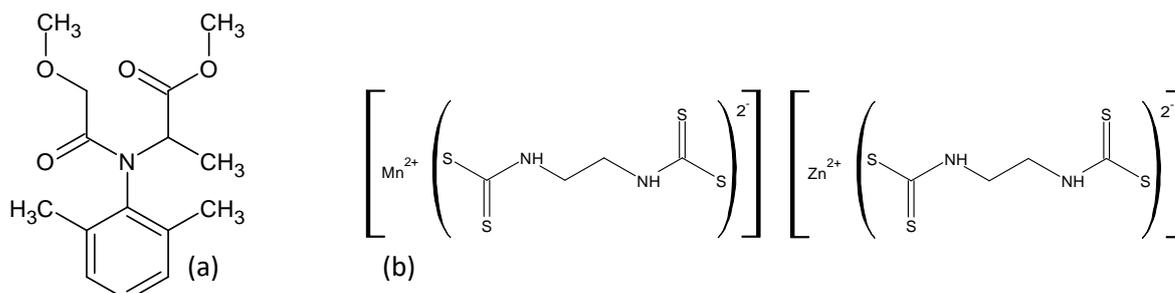
A poluição por pesticidas tem sido reconhecida como um importante problema global pelos cientistas e pelas agências ambientais que buscam soluções no desenvolvimento de pesticidas mais biocompatíveis que visam minimizar os efeitos colaterais nas espécies não-alvo (KAH et al., 2013).

Como muitos desses contaminantes não podem ser efetivamente eliminados pelo tratamento convencional, existe uma variedade grande de processos de tratamento que foram investigados mundialmente para remover pesticidas, como o uso de plasma para a degradação destes, tanto em água como em alimentos (NGUYEN et al., 2019; GIARDINA, 2018; BOURKE et al., 2018).

O plasma não térmico (PNT) é um estado parcial ou totalmente ionizado de um gás que consiste de íons carregados positiva e negativamente, elétrons livres, radicais livres e átomos reativos intermediários, moléculas e fótons UV com uma carga líquida neutra (MISRA, 2015). A capacidade do plasma para gerar espécies altamente reativas *in situ* é bem conhecida. Sua formação é iniciada principalmente pela colisão dos elétrons energéticos produzidos na descarga com átomos ou moléculas de gás. Uma vez que, a descarga é iniciada, espécies reativas também podem ser produzidas por reações de recombinação do radical ou desexcitação de espécies metaestáveis. As espécies primárias e secundárias (radicais hidroxila, o ozônio e o peróxido de hidrogênio) formadas em descargas elétricas em meio líquido ou gás-líquido são relevantes para a degradação dos poluentes-alvo. No entanto, muitas outras espécies (espécies reativas de oxigênio - ROS e espécies reativas de nitrogênio - RNS) são geradas no plasma, e podem contribuir também para a decomposição de poluentes, como oxigênio atômico, superóxido, radicais hidroperoxila, óxidos de nitrogênio, nitritos, nitratos e peroxinitritos. (DILECCE et al., 2012; MAGUREANU; BRADU; PARVULESCU, 2018).

O uso de minhocas como biondicadores para detectar possíveis comutações no ambiente é prática comumente utilizada e recomendada pela norma ABNT NBR 15537/2007, visto que são econômicos e eficazes. Uma vez que, estas fazem parte da formação do solo, participando da decomposição de matéria orgânica, qualquer resquício de alteração produzida no meio ambiente tem sua biota diretamente afetada.

No presente projeto foi estudado a aplicação do plasma frio na degradação de fungicidas em amostras de água, pois além de gerar radicais livres e produzir ozônio o plasma frio tem a capacidade de irradiar a luz UV que também pode aumentar a eficiência de degradação de pesticidas. E como composto alvo, foi escolhido o RIDOMIL® GOLD MZ que é uma mistura de fungicida sistêmico, Metalaxil-M (4%), pertencente à classe química das Fenilamidas, subclasse Acilalaninato e de um fungicida de contato, Mancozebe (64%), da classe dos ditiocarbamatos, apresentando-se na formulação do tipo pó molhável. A estrutura dos constituintes pode ser observada na Figura 1.



**Figura 1: Estruturas químicas dos compostos que compõem o Ridomil®, (a) Metalaxyl (methyl N-(methoxyacetyl) -N-(2,6-xylyl)-DL-alaninate) e (b) MANCOZEBE ((1,2-Ethanediylbis(carbamodithioato))(2-)) manganese zinc salt.**

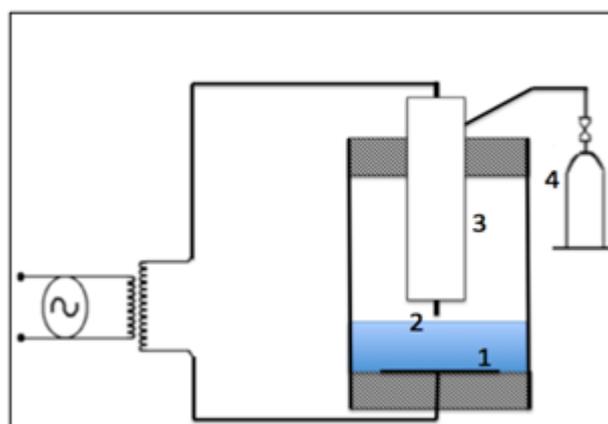
**Fonte: Elaborado pelos autores.**

## 2. Materiais e Métodos

O tipo de ensaio empregado é o experimental/descriptiva, tendo em vista o tipo de experimento implementado, o teste em bancada e a observação dos efeitos do plasma não térmico sobre as amostras impregnadas com o RIDOMIL. Os ensaios foram realizados nos laboratórios de Engenharia Ambiental e Sanitária e no Laboratório de Plasma localizados nas dependências da Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL) campus Pedra Branca.

O RIDOMIL® GOLD MZ foi cedido por uma empresa agropecuária e preparado em três diluições diferentes sendo a concentração (1) de 6,25 g/L, a concentração (1 ½) de 9,375 g/L e a concentração (2) de 12,5 g/L.

O reator de PNT (Figura 2) utilizado nos experimentos é constituído por um cilindro em quartzo com 7 cm de diâmetro, 8 cm de altura e 0,5 cm de espessura; uma base em plástico com aproximadamente 18 cm de diâmetro. A geometria do reator é do tipo ponta-plano em relação aos eletrodos utilizados, híbrido gás-líquido e em pressão atmosférica padrão. Para a geração do PNT foi usado uma fonte de alta tensão (17 kV) e corrente de 30 mA, foi introduzido na câmara ar atmosférico como gás plasmogênico e a formação dele se deu na fase gasosa. As soluções de Ridomil preparadas foram expostas ao plasma nos tempos de 15, 30 e 45 minutos.



**Figura 2: Modelo do reator de PNT utilizado nos experimentos, (1) Eletrodo plano; (2) Eletrodo ponta; (3) base de sustentação do eletrodo ponta; (4) Bomba injetora de ar atmosférico.**  
Fonte: Elaborado pelos autores.

Para os ensaios físico-químicos determinou-se o pH do solo, a condutividade e a concentração de sulfato foram determinadas no meio líquido contendo RIDOMIL® e que foi usado para contaminar o solo. Para a análise de pH do solo, procedeu-se conforme a norma ABNT NBR ISO 15537/2007. A condutividade da amostra foi medida antes e após a exposição do plasma utilizando o condutivímetro da marca Hanna, o sulfato foi determinado pelo método colorimétrico Hach 8507, utilizando o colorímetro HACH modelo DR/890.

Os ensaios ecotoxicológicos dos solos contaminados com RIDOMIL® foram embasados nas normas ABNT NBR 15537/2007 e ABNT NBR ISO 17512-1/2011. Foram realizados os testes de fuga também conhecido como de evitamento (Quadro 1) utilizando um recipiente circular contendo seis seções interconectadas (especificada pela norma ABNT NBR ISO 17512-1/2011), cada seção contendo 400 g do solo artificial tropical (SAT) e intercaladas com solo umidificado com água destilada e com soluções contendo RIDOMIL® expostas ao plasma em tempos diferentes. A quantidade de amostra e água utilizada na contaminação foi determinada através de ensaios com o intuito de deixar o solo com a capacidade de retenção de água de 40%. O SAT, foi preparado conforme disposto nas normas, sendo ele composto por 70% de areia industrial fina, 20% de argila branca e 10% de turfa triturada e as minhocas da espécie *Eisenia fetida* foram utilizadas como biondicadores, elas foram cedidas pelo Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária da Unisul. Foram adicionadas a cada câmara de seis seções 10 minhocas adultas, com clitelo, com peso entre 300 e 600 mg e previamente aclimatadas, conforme descrito nas normas (Quadro 1).

Quadro 1: Resumo teste de fuga ou evitamento utilizando a minhoca *Eisenia fetida*.

<b>Tipo de teste</b>	<b>Evitamento</b>
Norma	ISO 17512 (2007)
Tempo de duração	48 h
Réplicas	2
Números de organismos por recipiente	10
Quantidade de solo	400 g de solo seco por seção
Peso dos organismos	300 a 600 mg
Temperatura	23 °C

Luminosidade	Fotoperíodo de 24 horas
Umidade	40% da capacidade de retenção do solo

Fonte: Adaptado de Silva (2007).

Para o teste crônico de 28 dias (Quadro 2) utilizou-se do mesmo solo preparado para o teste de evitamento e seguiu-se adicionando 10 minhocas adultas, com clitelo, pesando cerca de 300 mg e previamente aclimatadas como já foi descrito. Para este teste foi adicionado cerca de 500 g de SAT em cada recipiente.

Quadro 2: Resumo teste de crônico utilizando a minhoca *Eisenia fetida*.

Tipo de teste	Evitamento
Norma	ISO 17512 (2007)
Tempo de duração	28 dias
Réplicas	2
Números de organismos por recipiente	10
Quantidade de solo	500g de solo seco em cada recipiente
Peso dos organismos	300 a 600 mg
Temperatura	23-25 °C
Luminosidade	Fotoperíodo de 24 horas
Umidade	40% da capacidade de retenção do solo

Fonte: Adaptado de Silva (2007).

### 3. Resultados e Discussões

Os valores de pH apresentaram pouca variação entre si. O menor valor de pH foi no tempo de 0 minutos e na concentração (1) de RIDOMIL® (pH=5,18) e o maior valor no tempo de 15 minutos e na concentração (2) de RIDOMIL® (pH=5,72). O pH, de acordo com a Sociedade Americana de Ciência do Solo (SSSA), integra um dos indicativos da qualidade do solo e está diretamente ligado com os processos e comportamento.

Os valores de pH do solo com diferentes concentrações de RIDOMIL® estão apresentados na Tabela 1. O pH do solo sem a presença de RIDOMIL® foi na média de 6,47.

Tabela 1: Resultado da análise de pH do solo.

Tempo de exposição ao plasma	pH		
	Concentração RIDOMIL®		
	1	1 1/2	2
<b>0 min</b>	5,18 (±0,06)	5,66 (±0,18)	5,43 (±0,06)
<b>15 min</b>	5,36 (±0,12)	5,52 (±0,14)	5,72 (±0,2)
<b>30 min</b>	5,28 (±0,03)	5,7 (±0,28)	5,68 (±0,03)
<b>45 min</b>	5,26 (±0,05)	5,49 (±0,15)	5,65 (±0,14)

Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com a ABNT NBR ISO 15537/2007 o pH do solo deve estar entre 5,5 e 6,5 para a realização dos ensaios, indicando que o SAT não estaria apto para as realizações do ensaio em decorrência da exposição ao plasma utilizando o ar atmosférico, isso já era esperado, pois o ar, composto de nitrogênio e oxigênio, tem influência na formação das

espécies reativas que promovem a acidificação do meio. Cubas et al., (2019) e Giardina et al., (2018) também testemunharam uma acidificação de suas amostras utilizando o ar atmosférico como gás plasmogênico.

Contudo, optou-se por não realizar a adição de um corretor de pH para evitar alterações nos resultados dos experimentos. O mesmo foi realizado por Lima (2010) no seu trabalho de doutorado “Avaliação do impacto da contaminação do solo de áreas agrícolas em bom repouso (MG) por meio de ensaios ecotoxicológicos”.

A condutividade elétrica está relacionada com o trânsito de elétrons através da solução. Na Tabela 2 observa-se que no tempo de exposição 0 min, à medida que aumenta a concentração de amostra na solução, aumenta a condutividade. Com a formação de espécies oxidativas e íons  $H^+$ ,  $NO_2^-$  e  $NO_3^-$  formados durante a aplicação do plasma no meio reacional, provenientes do ar atmosférico que migram da fase gasosa para a líquida, evidenciando que a medida que se aumenta a concentração de RIDOMIL®, bem como o tempo de exposição ao plasma ocorre o aumento na condutividade na amostra. Isso foi observado também por Silva (2017) no seu trabalho de “Caracterização e performance de produção de peróxido de hidrogênio de um reator de plasma frio”.

Tabela 2: Resultado da condutividade nas amostras líquidas com RIDOMIL® antes e após a exposição ao plasma.

Tempo de exposição ao plasma	Condutividade ( $\mu S/cm$ )		
	Concentração RIDOMIL®		
	1	1 1/2	2
<b>0 min</b>	580 ( $\pm 14,14$ )	822,5 ( $\pm 31,82$ )	1035 ( $\pm 15,56$ )
<b>15 min</b>	567,5 ( $\pm 10,60$ )	910 ( $\pm 14,18$ )	1228,5 ( $\pm 9,19$ )
<b>30 min</b>	716,5 ( $\pm 31,82$ )	956 ( $\pm 22,63$ )	1385,75 ( $\pm 15,20$ )
<b>45 min</b>	693 (73,54)	1029 ( $\pm 35,36$ )	1671,5 ( $\pm 16,26$ )

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados da concentração de sulfato apresentados na Tabela 3, mostram um aumento na concentração de sulfato em todas as amostras testadas, no tempo de 45 minutos na concentração (2) de RIDOMIL® apresentou em relação a amostra antes de exposição ao plasma, um maior incremento. Corroborando com o aumento de condutividade observado à medida que aumenta a exposição ao plasma.

Tabela 3: Resultado do teor de sulfato nas amostras líquidas com RIDOMIL® antes e após a exposição ao plasma.

Tempo de exposição ao plasma	Sulfato (mg/L)		
	Concentração RIDOMIL®		
	1	1 1/2	2
<b>0 min</b>	206,67 ( $\pm 11,55$ )	360 ( $\pm 34,64$ )	540 ( $\pm 20$ )
<b>15 min</b>	240 ( $\pm 16,17$ )	366,67 ( $\pm 11,55$ )	533,34 ( $\pm 50,33$ )
<b>30 min</b>	330 ( $\pm 14,14$ )	486,67 ( $\pm 23,09$ )	606,67 ( $\pm 23,09$ )
<b>45 min</b>	390 ( $\pm 42,43$ )	526,67 ( $\pm 11,55$ )	820 ( $\pm 52,91$ )

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os compostos formados após a exposição do RIDOMIL® ao plasma não foram avaliados, contudo, Tadam (2018), observou que com a descarga direta do plasma sobre o composto, à medida que o tempo de exposição aumenta, há uma diminuição da

concentração da amostra em meios aquosos. Corroborando com o esperado, que é a liberação de espécies oxidativas que reagem com a moléculas de água e do pesticida efetuando a liberação dos íons sulfato e outros subprodutos. Uma vez que em sua composição possui enxofre.

No teste de evitamento, foi realizado com o solo SAT controle e o solo SAT contaminado com diferentes concentrações de RIDOMIL® antes e após passar o líquido contaminado no PNT. Na tabela 4 são apresentados os resultados do teste.

Tabela 4: Resultados do teste de evitamento.

Tempo de exposição ao plasma	Evitamento (%)		
	Concentração RIDOMIL®		
	1	1 1/2	2
<b>0 min</b>	0	100	100
<b>15 min</b>	60	100	80
<b>30 min</b>	80	100	80
<b>45 min</b>	0	80	100

Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com a normativa que guiou os experimentos, caso haja  $\geq 80\%$  de evitamento, o solo encontra-se em função de habitat limitado, ou seja, impróprio para a sobrevivência dos indivíduos. Apenas a concentração 1 obteve valores aceitáveis de evitamento por parte dos indivíduos. Ainda, não houve mortalidade dos indivíduos testados em qualquer condição de análise, indicando que, apesar de haver evitamento o composto não é classificado como tóxico. Os resultados antes da exposição ao plasma, no tempo de 0 minutos, são semelhantes ao encontrado por Chini (2014) que também investigou o evitamento utilizando o composto Ridomil com as minhocas da espécie *Eisenia Fetida*. O evitamento se dá em decorrência da presença de quimiorreceptores no prostômio e a distribuição de tubérculos sensoriais no corpo dos anelídeos, tornando-os altamente sensíveis a substâncias químicas (Azevedo e Coronas, 2018). Este evitamento foi observado por Garica e colaboradores (2008), onde em baixas concentrações de Maconzebe implicaram em evitamento pelas minhocas.

No teste realizado em recipientes individuais durante o período de 28 dias, os indivíduos adultos foram retirados, após este período, e observados visualmente as modificações em sua estrutura, os indivíduos sobreviventes foram retirados manualmente e pesados. Neste teste, avaliou-se os efeitos crônicos subletais causados nos organismos-teste. Os testes de toxicidade crônicos são avaliados através da maior concentração de produto que não causa efeito sobre os organismos-teste. No experimento foi a concentração 1 e 1 1/2.

Os resultados da perda de massa são apresentados na Tabela 5.

Tabela 4: Resultado do teste crônico com 28 dias no solo contaminado com RIDOMIL® submetido ao PNT usando a *Eisenia fetida*.

Tempo de exposição ao plasma	Perda de massa das minhocas (%)	
	Concentração RIDOMIL®	
	1	1 1/2
<b>0 min</b>	33,52	41,52
<b>15 min</b>	47,65	41,64

<b>30 min</b>	43,15	31,01
<b>45 min</b>	35,63	33,33

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para os testes de toxicidade crônica não foram observadas mortes dos indivíduos em nenhuma concentração, embora tenha sido observado uma perda de massa por parte dos indivíduos, bem como deformações e diminuição ou desaparecimento do clitelo (Figura 3), de acordo com a norma ANBT NBR 15537/2007 o solo contaminado não é definido como tóxico. Evidenciando que as minhocas apresentam ainda certa sensibilidade frente aos compostos que compõem o pesticida e aos formados após a exposição dele ao plasma.



Figura 3: Minhocas antes e após a exposição ao solo contaminado. (A) Controle – solo com água; (B) Concentração 1 no tempo de 45 minutos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 4. Conclusão

Considerando os resultados dos ensaios de toxicidade com a *Eisenia fétida* observa-se que na concentração 6,5 g/L (1) do contaminante Ridomil® não houve rejeição do solo e quando a solução foi exposta 15 minutos e 30 minutos ao PNT houve rejeição do solo, enquanto as soluções submetidas ao PNT por 45 minutos, houve grande aceitação pelas minhocas. Nos demais experimentos com concentrações mais elevadas houve rejeição ao solo contaminado, mesmo depois da exposição ao PNT. No teste crônico de 28 dias na concentração de 9,375 g/L (1 ½) e após passar pelo PNT durante 30 minutos, foi observado uma menor perda de peso dos organismos testes, assim como as mudanças na condutividade e na concentração de sulfato nas soluções de RIDOMIL® submetidas ao PNT mostraram que o plasma atua na estrutura química do agrotóxico em questão. Para ter um melhor entendimento do comportamento do Ridomil® quando submetido à ação do PNT mais estudos são necessários, usando concentrações menores do agrotóxico, e outro biomonitor (*Daphnia magna*) para avaliar a toxicidade na água, além de ensaios para determinar a concentração de nitrato e nitrito como também a análise no HPLC para verificar os compostos formados após submeter o Ridomil® a ação do PNT.

## Referências

- ABNT - NBR 15537-1. Ecotoxicologia terrestre - Ecotoxicidade aguda - Método de ensaio com minhocas. Brasil. 2007.
- ABNT – NBR ISO 15512-1. Qualidade do solo Ensaio de fuga para avaliar a qualidade de solos e efeitos de substâncias químicas no comportamento. Parte 1: Ensaio com minhocas (*Eisenia fetida* e *Eisenia andrei*). Rio de Janeiro, 2011.
- AKTAR, W.; SENGUPTA, D.; CHOWDHURY, A. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. **Interdiscip. Toxicol.**, v. 2, p. 1-12, 2009.
- AZEVEDO, Amanda Rampelotto de; CORONAS, Mariana Vieira. Uso de testes de fuga com minhocas *Eisenia andrei* e *Eisenia fetida* para identificação da toxicidade de agrotóxicos no Brasil: uma breve revisão da literatura. **Ciência e Natura**, [S.L.], v. 40, n. 0, p. 18-26, 12 mar. 2019. Universidad Federal de Santa Maria.  
<http://dx.doi.org/10.5902/2179460x35495>. Disponível em:  
<file:///C:/Users/jp199/OneDrive/%C3%81rea%20de%20Trabalho/projeto%20de%20pesquisa%202020/Azevedo%20e%20Coronas,%202018.pdf>. Acesso em: 07 out. 2020.
- BAI, Y.; CHEN, J.; YANG, Y.; GUO, L.; ZHANG, C. Degradação de pesticida organofosforado induzida por plasma de oxigênio: efeitos de parâmetros operacionais e mecanismos de reação. *Chemosphere*, v. 81, p. 408 – 414, 2010.
- BOURKE, Paula; ZIUZINA, Dana; BOEHM, Daniela; CULLEN, Patrick J. KEENER, Kevin. The potential of cold plasma for safe and sustainable food production. *Trends in biotechnology*, v.36, n.6, p.615 – 626, 2018.
- CHINI, P. Uso de minhocas da espécie *Eisenia fetida*, como bioindicadoras em solos contaminados com agrotóxicos; Palhoça; Universidade do Sul de Santa Catarina, , 2014
- CUBAS, A. L. V. et al. Effect of chemical species generated by different geometries of air and argon non-thermal plasma reactors on bacteria inactivation in water. *Separation and Purification Technology*, v. 222, n. December 2018, p. 68–74, 2019.
- DILECCE, G.; AMBRICO, P.; SIMEK, M.; BENEDICTIS, S. OH density measurement by time-resolved broad band absorption spectroscopy in an Ar-H<sub>2</sub>O dielectric barrier discharge. **J. Phys. D: Appl. Phys.**, v. 45, p. n. 12, 6pp., 2012.
- GARCIA M, RÖMBKE J, BRITO MT de, SCHEFFCZYK A. Effects of three pesticides on the avoidance behavior of earthworms in laboratory tests performed under temperate and tropical conditions. *Environ. Pollut.* 2008;153:450-456.
- GIARDINA, Agata; TAMPIERI, Francesco; MAROTTA, Ester; PARADISI, Cristina. **Air non-thermal plasma treatment of Irgarol 1051 deposited on TiO<sub>2</sub>**. **Chemosphere**, v. 210, p.653 – 661, 2018.
- KAH, M. ; BEULKE, S. ; TIEDE, K. ; HOFMANN., T. Nanopesticides: state of knowledge, environmental fate, and exposure modeling. **Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.**, v. 43, p. 1823-1867, 2013.
- LIMA, Natália Costa de. Avaliação do impacto da contaminação do solo de áreas agrícolas de Bom Repouso (MG) por meio de ensaios ecotoxicológicos. 2010. 71 130 f.

Dissertação Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

MAGUREANU, M.; BRADU, C.; PARVULESCU, V. I. Plasma processes for the treatment of water contaminated with harmful organic compounds. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, v. 51 n. 31, 23pp., 2018.

MISRA, N.N. The contribution of non-thermal and advanced oxidation technologies towards dissipation of pesticide residues. *Trends Food Sci. Technol.*, v.45, n.2, p. 229-244, 2015.

NGUYEN, Dung Van; HO, Phong Quoc; PHAM, Toan Van; NGUYEN, Tuyen Van; KIM, Lavane. A study on treatment of surface water using cold plasma for domestic water supply. **Environmental Engineering Research.** , v. 24, n.3. p. 412 - 417, 2019.

SILVA, A. F. F. DA. Caracterização e Performance de um Reator de Plasma Frio na Produção de Peróxido de Hidrogênio, Florianópolis, 2017.

TADOM, Doringar, KAMGANG-YOUBI, Georges, ACAYANKA, Elie, NJOYIM-TAMUNGANG, Estella, & LAMINSI, Samuel. Reduction of sludge formed during a coagulation treatment of Ridomil Gold by means of non-thermal quenched plasma pre-treatment. *Environmental Monitoring and Assessment.* 2018