

Ecotoxicologia e mitigação dos passivos ambientais da borracha de pneu micronizado

A ecotoxicologia, cuja sua primeira definição foi dada em 1969 por Truhaut, é uma ciência oriunda ramificação dos estudos toxicológicos, que avalia os efeitos dos venenos em organismos individuais, porém associada ao meio ambiente, incluíram-se os efeitos nos organismos e nos ambientes pelos poluentes (Moriarity, 1988; Cairns, 1989).

Atualmente, dentro da ecotoxicologia, são realizados estudos com contaminantes emergentes (CEs), que são produtos químicos orgânicos sintéticos recentemente detectados em ambientes naturais que além de não são regulamentados, podem causar efeitos deletérios na vida aquática e humana e estão se tornando uma preocupação crescente (De La Cruz et al., 2012; Dolar et al., 2012; Grassi et al., 2012; Chen; Zhou, 2014; Garcia-Rodríguez et al., 2014; Ahmed et al., 2015).

Os CEs estão presentes e detectados principalmente na rede de esgoto municipal e no ambiente natural e sua origem são de produtos domésticos diários, cosméticos, fármacos, águas residuais, hospitais, aterros e etc. (Deegan et al., 2011; Prieto-Rodriguez et al., 2012).

Os CEs podem causar riscos ecológicos como interferência no sistema endócrino de organismos aquáticos, resistência microbiológica e acúmulo no solo, plantas e animais (Belhaj et al., 2015), visto que esses CEs não são completamente removidos por processos convencionais de tratamento de águas residuais (Klamerth et al, 2013; Luo et al., 2014; Ahmed et al., 2015).

Dentro da gama dos CEs, pode-se encontrar variados tipos e origens de microplásticos (MPs). Os MPs são fabricados industrialmente como microesferas de diferentes tamanhos e são usados em produtos de cuidados pessoais (Fendall; Sewell, 2009), como esfoliantes (Darling et al., 2015; Leslie, 2015), em jateamento de areia (Sundt et al., 2014) ou como os grânulos de plástico (*pellets*) virgem maiores destinados como matérias-primas para a fabricação de produtos (Browne et al., 2011). Normalmente esses *pellets* entram no meio ambiente por meio de "vazamento" durante a fabricação, transporte ou uso. Além da produção propriamente dita desses pellets, há a derivação da fragmentação de grandes itens de detritos plásticos (incluído látex e borrachas em geral) durante o uso de produtos ou devido à degradação de seu lixo pelo intemperismo. A entrada destes é muito mais

difícil de estimar. Os comprimentos dos MPs vão de 0,1 cm ou 1.000 micrômetros (μm) a 1 μm , até o nanoplástico, com comprimentos menos que 1 μm .

Nos últimos anos, as preocupações com os detritos de polímeros sintéticos, como os MPs, nos oceanos se expandiram para incluir os danos causados aos organismos relacionados à ingestão (Jacobsen et al., 2010; Setälä et al., 2014; Neves et al., 2015). Essas novas preocupações também giram em torno da presença de espécies químicas de baixo peso molecular no MP que podem estar biodisponíveis para a ingestão de organismos, causando danos entre as espécies por não serem depurados pelos sistemas fisiológicos e acabam persistindo e bioacumulando, potencializando (biomagnificando) sua ação danosa e se propagando na cadeia alimentar (trófica) (Farrell; Nelson, 2013; Setälä et al., 2014), chegando em espécies de interesse comercial como peixes, crustáceos e moluscos (Van Cauwenberghe; Janssen, 2014; Rochman et al., 2015a, 2015b).

Os pneus sofrem processo de intemperismo e abrasão pela superfície asfáltica e em estradas em geral, gerando partículas que podem ser encontradas em diversos compartimentos ambientais (Wik; Dave, 2009; Kole et al., 2017). Logo, essas partículas são MP e a abrasão é a maior fonte desse contaminante, e atualmente tem-se sido avaliado os efeitos das partículas de borracha com e como MP, tomando uma rota mais holística dos efeitos ecotoxicológicos, uma vez que antes somente analisava os produtos químicos lixiviados das partículas dos pneus e não os fragmentos deles em si (Hartwell et al., 1998; Wik; Dave, 2006; Turner; Rice, 2010).

Em um trabalho de revisão realizado por Halle e colaboradores publicado em 2020 sumariza os efeitos ecotoxicológicos dos MPs oriundos do intemperismo e abrasão de pneus. E de forma geral, sugere-se que o tanto as partículas lixiviadas quanto as formas de MPs da borracha do pneu podem causar efeitos adversos, como mortalidade aguda e durante exposições de longo prazo acaba impactando a reprodução e o crescimento das espécies aquáticas (Khan et al., 2019) e bioacumulando e biomagnificando em espécies de interesse comercial e abastecimento hídrico.

Para gerenciar essas adversidades, medidas de logística reversa (LR); pesquisa e parcerias público-privada devem ser estabelecidas. E antes disso, entender a realidade local.

A zona costeira (ZC) brasileira enfrenta desafios de grandes proporções, onde vivem cerca de 26,6% da população brasileira (IBGE, 2011). Das regiões que compõem a ZC, a Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS), localizada na região sudeste do

Estado de São Paulo, compreende os municípios de Santos, São Vicente, Praia Grande, Guarujá, Cubatão, Itanhaém, Mongaguá, Peruíbe e Bertioga, que representam mais de 4,03% da população paulista (SEADE, 2011).

A RMBS abriga o Sistema Estuarino de Santos e São Vicente (SESSV), sendo uma zona de transição entre o Oceano Atlântico e as águas continentais encontradas da bacia hidrográfica de Cubatão, Santos, São Vicente, Guarujá e Praia Grande com atividades antropogênicas e econômicas, sendo uma região densamente urbanizada com parques industriais e a presença do maior porto da América Latina, o Porto de Santos (Gimiliani et al., 2016). Vive-se uma desigualdade socioeconômica que reflete na qualidade ambiental, já que na região em que menos de 25% da população local vive em áreas com coleta de esgoto e seus efluentes tratados antes disposição no estuário (SNIS, 2017). Nessas condições, os ecossistemas marinhos ficam ainda mais expostos às descargas de águas residuais tratadas e não tratadas de origens domésticas e de atividades econômicas, constituídas por extensas classes de contaminantes, que incluem os CEs (Pereira et al., 2016).

Com base na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) número 416/2009, que dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências e na Lei 12.305/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que define os aspectos dos passivos ambientais gerados pelos resíduos sólidos e medidas de LR. Lembrando ainda que a RMBS se encontra na ZC, ela está abrangida pela Lei 7.661/1988 que instituiu o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), que acolhe medidas de ações e gestão para resíduos sólidos previstas em lei e lixo no mar de forma cooperada entre os diversos atores sociais (*stakeholders*) na governança costeira, seja a nível municipal, estadual e federal.

Na publicação em comemoração dos 25 anos do PNGC pelo Ministério do Meio Ambiente (MAM) em 2015, traz a luz que as Administrações Portuárias devem construir um cenário onde serão tratadas as condições infraestruturais para o tratamento, destinação e manejo de resíduos sólidos, efluentes líquidos e fauna sinantrópica. Já no IV Plano de Ação Federal para a Zona Costeira (PAF-ZC) sobre os anos de 2017/2019 publicado pelo MAM ressalta nos planos de trabalho a execução íntegra da PNRS para o combate e mitigação dos resíduos sólidos e lixo no mar. Nele, devem-se mais que tudo, na ZC, compartilhar entre os *stakeholders* a responsabilidade dos resíduos sólidos, seja qual for

a natureza (disposto na PNRS); aplicar LR dos resíduos e embalagens pré-consumo e pós-consumo (disposto na PNRS); realizar, ampliar e aplicar o Macrodiagnóstico da ZC; criar, desenvolver e implementar Planos Municipal e Estadual de Resíduos Sólidos. Essas diretrizes reiteram a força dos distintos *stakeholders* na governança costeira, seja pelo poder público, comunidade científica, organizações socioambientais, entidades privadas e a sociedade civil.

Ações de LR já previstas na constituinte reiteram a urgência de mitigar as atividades extrativista e predatória dos recursos naturais, uma vez que, quando os produtos chegam ao fim do ciclo de vida, esses itens (ou o que sobrou deles) vão parar no meio ambiente. Diante dessa situação, há um maior interesse no desenvolvimento de técnicas e ferramentas de gerenciamento de resíduos sólidos. A LR se destaca como uma das mais promissoras; é definido como a movimentação de produtos ou materiais na direção oposta da logística tradicional com o objetivo de criar e recuperar valor, ou para destinar corretamente os diferentes tipos de produtos (Tibben-lemcke; Rogers, 2002; Das; Dutta, 2013; Demirel et al., 2014).

Então, quais ações podem ser implementadas para que os processos de LR para pneus em fim de vida ou inservíveis possam melhorar? Primeiramente, obter maior compreensão dos processos de LR de pneus em fim de vida ou inservíveis e implementar ações de melhoria; e secundariamente, contribuir com formas eficazes de redução do passivo ambiental gerado pelo descarte incorreto de pneus em fim de vida. Os conhecimentos gerados podem servir de base de informações e referências que auxiliam na tomada de decisões por autoridades públicas que precisam iniciar programas semelhantes ou aprimorar os existentes.

Nesse sentido, a organização não governamental (ONG) projeto ECOPHALT, A ECOPHALT nasceu a partir de um TCC do Curso Técnico de Logística da ETEC de Praia Grande, cujo tema era Asfalto Ecológico. Ao finalizar o curso, com incentivo da diretoria da ETEC, o TCC foi transformado em projeto e dois meses depois da conclusão do curso foi criada a ECOPHALT, em 22 de fevereiro de 2013, sobre a direção de Syllis Paes e Luiz Pereira de Brito, e um corpo técnico.

Atualmente realiza palestras motivacionais em como transformar TCCs em projetos sustentáveis e outros temas referentes a Gestão de Resíduos e a Logística Reversa do Asfalto Ecológico de Pneus. Com o Programa ECOKIDS COMPOSTA, iniciada em

2015, realiza atividades lúdicas sobre a Coleta Seletiva, compostagem, minhocários, oficinas de pinturas de pneus.

Tem realizado apoio às cooperativas de materiais recicláveis para contribuir com a eficiência da Coleta Seletiva e a união entre as cooperativas da região. Por outro lado, participa de Conselhos Municipais e Estaduais com o objetivo de colaborar com ideias e projetos nas discussões sobre Educação Ambiental, Recursos Hídricos, a Logística Reversa e a Gestão dos Resíduos Sólidos.

O projeto ECOPHALT tem atuação ativa em implementação de políticas locais, como a criação do Ecoponto Caiçara (2015), que recebe resíduos sólidos recicláveis e inclusive pneus; registrada oficialmente no Cadastro Estadual de Entidades Ambientistas do Estado de São Paulo – nº 10603 (2015 e renovada em 2016); membro do Comitê da Bacia Hidrográfica da Baixada Santista (2017); recebeu o Certificado Estadual de Entidades – CRCE/SP (2017); recebeu o título de Utilidade Pública Municipal: Decreto 1548/2017; participou do Fórum Mundial da Água e do F.A.M.A (Fórum Alternativo da Água) nos dias 18 a 2 de Março em Brasília, representando as entidades ambientalistas do Brasil, pois foi uma das 200 ONGs, de todo o mundo, selecionadas pelo evento para que receberam o patrocínio e ter a oportunidade de participar dos eventos, trazendo contribuições para a defesa e conservação dos recursos hídricos; e registrada no Cadastro Nacional de Entidades Ambientistas – CNEA (2018).

Das conquistas de ação de mitigação direta e de LR foi em São José dos Campos em 2018, que foi o primeiro município do Estado de São Paulo que acreditou no projeto ECOPHALT e se mobilizou, realizando aplicação do Asfalto Ecológico em 8,6 km na Via Combuí e utilizaram 16.100 pneus inservíveis.

E atualmente, em janeiro de 2020, a ONG ECOPHALT teve dois projetos contemplados pelo Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) do Estado de São Paulo: PROJETO ECOKIDS – COB 115/BS e GERENCIAMENTO DE PNEUMÁTICOS – COB 92/BS. Esses projetos buscam gerar emprego, atuar na educação ambiental nas escolas da rede pública da BS; e levantar dados sobre os pneus: usuários do varejo dos produtos pneumáticos, inferências a respeito dos profissionais de manutenção (borracharias, bicicletarias e lojas de acessórios) bem como, dos grandes revendedores locais (empresas e distribuidores atacadistas de grande porte) de toda a RMBS.

Com isso, espera-se criar produtos desenvolvidos durante a execução deste projeto:

1. Peças de comunicação, afixadas nos estabelecimentos de comercialização de pneus visando a orientação dos clientes e consumidores sobre a importância da responsabilidade compartilhada dos pneus inservíveis;
2. 3 Informativos eletrônicos, 2 *releases* para imprensa, contendo informações sobre os dados levantados pelo projeto, bem como orientações alusivas a destinação correta dos pneus inservíveis;
3. Mapas temáticos, por município, indicando e espacializando seus revendedores, pontos de coleta, armazenamento e destinação dos pneumáticos, disponibilizados sob a forma de banner e eletrônica;
4. Relatório síntese, contendo as informações levantadas, indicando as fraquezas e potencialidades de cada município, bem como o cruzamento de dados oficiais e os levantados pelo projeto, com o objetivo de inferir a eficiência dos programas de coleta.

Para a execução desse projeto, foram contratados 6 técnicos de campo; 1 jornalista; 1 cientista ambiental; 1 administrador contábil; e 1 cartógrafo.

As ações durante e futuras nas operações pertinentes aos projetos têm a ambição de criar parcerias e estratégias entre o poder e entidades públicos, entidades privadas, institutos de pesquisa, cooperativas e sociedade civil.

Msc Kainã Rocha Cabrera FAGUNDES

CRBio: 120356/01-D

Referências

Ahmed, M.B.; Zhou, J.L.; Ngo, H.H.; Guo, W. 2015 Adsorptive removal of antibiotics from water and wastewater: progress and challenges, *Sci. Total Environ.* 532:112–126.

Browne, M.; Crump, P.; Niven, S.; Teuten, E.; Tonkin, A.; Galloway, T.; Thompson, R. 2011 Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environ. Sci. Technol.* 45(21):9175–9179.

- Cairns, J. 1989 Will the real ecotoxicologist please stand up? *Environ. Toxicol. Chem.*, 8:843.
- Chen, K.; Zhou, J.L. 2014 Occurrence and behavior of antibiotics in water and sediments from the Huangpu River, Shanghai, China, *Chemosphere* 95:604–612.
- Darling, S.J.; Green, A.R.S.; Veríssimo, D. 2015 Scientific evidence supports a ban on microbeads. *Environ. Sci. Technol.* 49(18):10759–10761.
- Das, D.; Dutta, P. 2013 A system dynamics framework for integrated reverse supply chain with three way recovery and product exchange policy. *Comput Ind Eng* 66(4):720–733.
- De la Cruz, N; Giménez, J; Esplugas, S; Grandjean, D; De Alencastro, L; Pulgarin, C. 2012. Degradation of 32 emergent contaminants by UV and neutralphoto-fenton in domestic wastewater effluent previously treated by activated sludge, *Water Res.* 46:1947–1957.
- Deegan, A.; Shaik, B; Nolan, K.; Urell, K.; Oelgemöller, M; Tobin, J.; Morrissey, A. 2011 Treatment options for wastewater effluents from pharmaceutical companies, *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 8:649–666.
- Demirel, E.; Demirel, N.; Gökçen, H. 2014 A mixed integer linear programming model to optimize reverse logistics activities of end-of-life vehicles in Turkey. *J Clean Prod.* 112:2101-2113.
- Dolar, D.; Gros, M.; Rodriguez-Mozaz, S.; Moreno, J.; Comas, J.; Rodriguez-Roda, I.; Barceló, D. 2012 Removal of emerging contaminants from municipal wastewater with an integrated membrane system, MBR–RO, *J.Hazard. Mater.* 239:64–69.
- Farrell, P.; Nelson, K 2013 Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L). *Environ. Pollut.* 177:1–3.
- Fendall, L.S.; Sewell, M.A. 2009 Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers. *Mar. Pollut. Bull.* 58(8):1225–1228.
- Garcia-Rodríguez, A.; Matamoros, V.; Fontàs, C.; Salvadó, V. 2014 The ability of biologically based wastewater treatment systems to remove emerging organic contaminants—a review, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 21:11708–11728.

Gimiliani, G.T.; Fontes, R.F.C.; Abessa, D.M. 2016 Modeling the dispersion of endocrine disruptors in the Santos Estuarine System (Sao Paulo State, Brazil). *Braz. J. Oceanogr.* 64(1):1-8.

Grassi, M.; Kaykioglu, G.; Belgiorno, V.; Lofrano, G. 2012. Removal of emerging contaminants from water and wastewater by adsorption process, in: G.Lofrano (Ed.), *Emerging Compounds Removal from Wastewater*, Springer, pp. 15–37.

Halle, L.L.; Palmqvist, A.; Kampmann, K.; Khan, F. R. 2020. Ecotoxicology of micronized tire rubber: Past, present and future considerations. *Sci. Total Environ.* 706:135694.

Hartwell, S.I.; Jordahl, D.M.; Dawson, C.E.O.; Ives, A.S. 1998 Toxicity of scrap tire leachates in estuarine salinities: are tires acceptable for artificial reefs? *Trans. Am. Fish. Soc.* 127:796–806.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2011 Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas. 177p.

Jacobsen, J.K.; Massey, L.; Gulland, F. 2010 Fatal ingestion of floating net debris by two sperm whales (*Physeter macrocephalus*). *Mar. Pollut. Bull.* 60 (5):765–767.

Khan, F.R.; Halle, L.L.; Palmqvist, A. 2019 Acute and long-term toxicity of micronized car tire wear particles to *Hyalella azteca*. *Aquat. Toxicol.* 213:105216.

Klamerth, N.; Malato, S.; Agüera, A.; Fernández-Alba, A. 2013 Photo-Fenton and modified photo-Fenton at neutral pH for the treatment of emerging contaminants in wastewater treatment plant effluents: a comparison, *WaterRes.* 47:833–840.

Kole, P.J.; Löhr, A.J.; Van Belleghem, F.G.A.J.; Ragas, A.M.J. 2017 Wear and tear of tyres: a stealthy source of microplastics in the environment. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 14:1265.

Leslie, H. 2015 *Plastic in Cosmetics* (Institute for Environmental Studies).

Luo, Y.; Guo, W.; Ngo, H.H.; Nghiem, L.D.; Hai, F.I.; Zhang, J.; Liang, S.; Wang, X.C. 2014 A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment, *Sci. Total Environ.* 473:619–641.

Moriarity, F. 1988 *Ecotoxicology: The Study of Pollutants in Ecosystems*, 2nd ed., Academic Press, San Diego.

Neves, D.; Sobral, P.; Ferreira, J.L.; Pereira, T. 2015 Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast. *Mar. Pollut. Bull.* 101:119–126.

Pereira, C.D.S.; Maranhão, L.A.; Cortez, F.S.; Pusceddu, F.H.; Santos, A.R.; Ribeiro, D.A.; Cesar, A.; Guimarães, L.L. 2016 Occurrence of pharmaceuticals and cocaine in a Brazilian coastal zone. *Sci. Total Environ.* 548–549:148–154.

Prieto-Rodriguez, L.; Miralles-Cuevas, S.; Oller, I.; Agüera, A.; Puma, G.L.; Malato, S. 2012 Treatment of emerging contaminants in wastewater treatment plants (WWTP) effluents by solar photocatalysis using low TiO₂ concentrations, *J. Hazard. Mater.* 211:131–137.

Rochman, C.M.; Kross, S.M.; Armstrong, J.B.; Bogan, M.T.; Darling, E.S.; Green, S.J.; Smyth, A.R.; Veríssimo, D. 2015b Scientific evidence supports a ban on microbeads environ. *Sci. Technol.* 49:10759–10761.

Rochman, C.M.; Tahir, A.; Williams, S.L.; Baxa, D.V.; Lam, R.; Miller, J.T.; The, F.C.; Werorilangi, S.; The, S.J. 2015a Anthropogenic debris in seafood: plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Sci. Report.* 5:14340.

Setälä, O.; Fleming-Lehtinen, V.; Lehtiniemi, M. 2014 Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environ. Pollut.* 185:77–83.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) 2017 <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2019>. Acessado dia 10/11/2021.

Sundt, P.; Schulze, P.; Syversen, F. 2014 Sources of microplastic- pollution to the marine environment, Norwegian Environment Agency. UNEP (2015). *Plastics in Cosmetics (A Fact Sheet. UNEP)*.

Tibben-Lembke, R.S.; Rogers, D.S. 2002 Differences between forward and reverse logistics in a retail environment. *Sup Chain Manag: Int J* 7(5):271–282.

Turner, A.; Rice, L. 2010 Toxicity of tire wear particle leachate to the marine macroalga, *Ulva lactuca*. *Environ. Pollut.* 158:3650–3654.

Van Cauwenberghe, L.; Janssen, C.R. 2014 Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environ. Pollut.* 193:65–70.

Wik, A.; Dave, G. 2006 Acute toxicity of leachates of tire wear material to *Daphnia magna* - variability and toxic components. *Chemosphere* 64:1777–1784.

Wik, A.; Dave, G. 2009 Occurrence and effects of tire wear particles in the environment - a critical review and an initial risk assessment. *Environ. Pollut.* 157:1–11.