



XIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

CONTAMINANTES EMERGENTES EM SOLOS: UMA REVISÃO DE LITERATURA COM FOCO NAS SULFANAMIDAS

Ana Emília Carvalho de Gusmão da Cunha Rabelo¹; Artur Paiva Coutinho²; Severino Martins dos Santos Neto³ & Antônio Celso Dantas Antonino⁴

RESUMO – A gestão de poluentes emergentes se apresenta como um enorme desafio para evitar a contaminação do solo e da água. Esse trabalho tem por objetivo realizar uma revisão de literatura referente a ação de antibióticos no solo, os mecanismos de sorção e as aplicações de Batch e coluna para determinação dos parâmetros hidrodispersivos. Bem como os fatores que influenciam na sua persistência e degradação, apresentando um foco sobre o composto sulfadiazina (SDZ). A revisão demonstra que o entendimento do mecanismo de sorção em Batch e coluna pode auxiliar no desenvolvimento de medidas, técnicas ou ações que minimizem o efeito da sulfadiazina ou antibiótico similar no solo, seja em ambiente agrícola ou urbano.

ABSTRACT– The management of emerging pollutants is an enormous challenge to prevent soil and water contamination. This study aims to conduct a literature review regarding the effects of antibiotics in the soil, the sorption mechanisms and the application of Batch and column to determine the hydro dispersive parameters. As well as, the factors that influence their persistence and degradation, presenting a focus on the compound sulfadiazine (SDZ). The review shows that the understanding of the sorption mechanism in batch and column can assist in the development of

1) Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da UFPE, Av. Professor Luiz Freire 1000, 50740-540, Cidade Universitária, Recife-PE, (81) 2126-8252, anaemilia.rabelo@ufpe.br

2) Professor Adjunto I do Núcleo de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste da UFPE - CAA, Rodovia BR-104, Km 59, s/n - Nova Caruaru, Caruaru - PE, 55002-970, (81) 2103-8252, arthur.coutinho@yahoo.com.br

3) Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da UFPE, Av. Professor Luiz Freire 1000, 50740-540, Cidade Universitária, Recife-PE, (81) 2126-7973, martinsdsn@gmail.com

4) Afiliação: Professor Titular do Departamento de Energia Nuclear da UFPE, Av. Professor Luiz Freire 1000, 50740-540, Cidade Universitária, Recife-PE, (81) 2126-7973, acdantonino@gmail.com

measures, techniques or actions. These will seek to minimize the effects of sulfadiazine or similar antibiotic in the soil, either in agricultural or urban environment.

Palavras-Chave – Transporte de contaminantes, contaminação do solo, antibióticos.

1- INTRODUÇÃO

Os contaminantes orgânicos emergentes, devido ao crescimento do seu uso, tem desencadeado uma preocupação entre pesquisadores. Estes contaminantes se caracterizam como produtos farmacêuticos, de higiene pessoal, cosméticos, hormônios, pesticidas, veterinários e outros resíduos encontrados em concentrações mais baixas, em matrizes aquosas e sólidas. Isto se deve a sua atuação na água superficial, água subterrânea e nas zonas do solo.

Uma atenção especial é dada aos antibióticos. Estes foram introduzidos no final dos anos 1930 e tem sido largamente utilizado para a prevenção de infecções bacterianas em seres humanos e animais, onde a quantidade total anual de uso de antibióticos, incluindo medicamentos e antibióticos veterinários chegou a $10^5 - 2 \times 10^5$ toneladas mundialmente, segundo Wang e Tang (2010). Van Boeckel *et al.* (2015) estimaram que o consumo total de antibióticos, na pecuária, em todo o mundo foi de 63.151t em 2010, sendo liderado pela China e estando o Brasil na terceira posição, e projetaram que aumentará em 67% até 2030. Onde, na China, por exemplo a produção total de antibiótico foi em torno de 1.470.000t em 2009 (Yang *et al.* (2010)).

Os organismos humano e animal não absorvem nem metabolizam totalmente os antibióticos, excretando-os em sua forma inalterada pelas fezes e urinas. Assim, estes chegam às Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), onde são parcialmente removidos. Deste modo, o tratamento de esgoto tradicional pode eliminar patógenos mas, não evita grande quantidades de poluentes em efluentes (compostos inorgânicos, poluentes orgânicos persistentes, desreguladores endócrinos, fármacos, desinfetantes, compostos de higiene e de cuidados pessoais, etc.), no caso, contaminantes emergentes (Fatta-Kassinos *et al.* (2011)).

Os antibióticos exercem seletividade na comunidade microbiana levando ao desenvolvimento de bactérias e genes resistentes. O aumento da propagação dessas bactérias está ameaçando o alcance da medicina moderna e colocando a saúde humana e a segurança ecológica em risco (Udikovic-Kolic *et al.* (2014); Berendonk *et al.* (2015)). O solo é atualmente conhecido como um habitat para os antibióticos (Wright (2010)). Além disso, distúrbios no solo afetam a estrutura da comunidade de organismos, assim, contaminantes emergentes, podem causar toxicidade aos nematoides (Anbalagan *et al.* (2013)).

Falta de informação no destino e transporte dos contaminantes emergentes, faz com que seja difícil para agências reguladoras desenvolver políticas que poderiam dar assistência a administração destes no meio ambiente. Atualmente, são escassas as informações existentes para determinar o potencial dos contaminantes emergentes no meio ambiente ou seu risco para a saúde pública. Além disso, o avanço rápido dos poluentes emergentes não está sendo acompanhado pelas normas que definem os critérios de potabilidade, uma vez que essas normas ainda não estão atualizadas para garantir segurança sanitária suficientemente confiável para as populações. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é realizar um estudo da arte do transporte de contaminantes emergentes no solo, com ênfase em antibióticos do tipo sulfanamidas (SAs).

2- FÁRMACOS NO SOLO

Vários são os fatores que vão promover a entrada de contaminantes fármacos no solo. Dentre esses fatores pode se destacar a a) ausência de saneamento básico com o lançamento de efluentes domésticos em rios e diretamente no solo; b) a fertilização com águas residuais; c) a excreção metabólica na urina e fezes; d) transferência de dejetos sólidos para o solo como fertilizantes. Por exemplo, o contato desses contaminantes com o solo levam as minhocas, as quais estão inseridas na base de varias cadeias alimentares, a facilitar o movimento de químicos através de bioacumulação e processos de bioamplificação (Shore *et al.* (2014)).

No cenário global atual, onde a prática da agricultura orgânica predomina, a aplicação direta de estrume funciona como uma das principais fontes de entrada de antibiótico no meio ambiente (Tasho e Cho (2016)). Ademais, nos vários antibióticos veterinários, as taxas de metabolização são bastante baixas (menores que dez por cento) (Kümmerer e Henninger (2003)) promovendo a entrada e posteriormente o acúmulo destes no solo. Chen *et al.* (2013) destacaram que foi observado uma retenção maior de antibióticos nos primeiros 20 cm do perfil do solo agrícola, se o mesmo for irrigados com água de reuso.

Além disso, os resíduos animais, fonte natural de bactérias, são identificados como um reservatório para transferência de vários plasmídeos resistentes à antibióticos no solo, podendo assim, essas superbactérias afetar a estrutura das colônias de micro-organismos presentes no solo (Binh *et al.* (2008)). De acordo com Tasho e Cho (2016), a entrada de estrume no solo pode ainda liberar potencialmente alguns bio-sólidos dentro do meio ambiente.

Os fatores que colaboram para a possível persistência de antibióticos veterinários no meio ambiente são o tipo de solo, a umidade, a temperatura, as excreções animais, o conteúdo da matéria orgânica, o pH e luz UV, o que afeta a degradação de moléculas, e leva ao início de transformações abióticas (Kim *et al.* (2011)). Outro indicador importante de persistência é a meia vida dos contaminantes emergentes no solo, ou na água, onde estes podem variar de alguns dias

(chloramphenicol, ceftiofur) até valores altos como 300 dias (oxytetracycline, sarafloxacin) (Tasho e Cho (2016)). As baixas temperaturas são também um agravante, pois reduzem a taxa de degradação de antibióticos.

São vários os antibióticos veterinários utilizados na pecuária, onde a dosagem de uso destes na alimentação animal pode variar de 3 a 220 g Mg⁻¹ e varia principalmente de acordo com o tipo e tamanho do animal (Kumar *et al.* (2005)). Deste modo, são apresentados na Tabela 1 alguns destes fármacos, juntamente com o seu efeito no desenvolvimento animal.

Tabela 1 - Antibióticos veterinários mais comumente usados na indústria pecuária

Droga	Classe	Efeito
Oxitetraciclina ^{d c}	Tetraciclina	Promotor do crescimento em bovinos, medicina veterinária
Clortetraciclina ^{a b e}	Tetraciclina	Promotor do crescimento em bovinos, medicina veterinária
Penicilina ^e	β-Lactâmicos	Tratamento e prevenção de doenças, melhoria do crescimento
Sulfametazina ^{a b g}	Sulfonamida	Tratamento de doenças
Neomicina ^{d e f}	Aminoglicosídeo	Tratamento e controle de enterite bacteriana
Monensina ^{a e}	Ionóforo	Aumenta a taxa de conversão alimentar, ganho de peso em bovinos e ovinos
Tylosin ^{a d}	Macrólido	Tratamento de doenças, melhoria do crescimento em alguns casos
Virginiamicina ^a	Peptide	Promove o crescimento de avicultura
Bacitracina ^{d e}	Peptidomiméticos	Promove o crescimento de avicultura

^a Kang *et al.* (2013); ^b Kumar *et al.* (2004,2005); ^c Buttaye *et al.* (2003); ^d De Liguoro *et al.* (2003); ^e Webb & Fontenot (1975); ^f EMA (2014); ^g Seo *et al.* (2010); adaptado de Tasho e Cho (2016).

As sulfonamidas, as quais são amplamente utilizadas para tratamento de doenças, tanto animais quanto humanas, assim como nos demais antibióticos, apresentam uma metabolização normalmente incompleta, assim, uma ampla fração destas podem ser excretadas pela urina e fezes e em seguida liberadas no meio ambiente. Devido a baixa eficiência de remoção destes fármacos por estações de tratamento de esgoto, SAs são frequentemente detectadas nas águas residuais, superficiais e subterrâneas. Onde é atestado uma presença geral de um nível de sulfonamidas no solo de ng/l para µg/l e de nível relativamente baixo na água. Deste modo, Walsh *et al.* (2011) relataram que foi frequentemente detectado, em diversos solos, a existência de genes resistentes da

sulfanamida. Sendo verificado que a abundância destes genes nos tipos sul I e sul II foi muito maior em solos irrigados com água de reuso quando comparados com solos não irrigados. Posteriormente Chen et al. (2014) detectaram frequências gerais de SDZ acima de 50%, sendo estas detectadas em 97,6% das amostras.

Martinez-Carballo *et al.* (2007), por sua vez, observaram que o SDZ caracteriza-se por uma rápida dissipação depois de aplicado no solo, já que não pode ser detectado na amostra de solo tratada com estrume. Kreuzig *et al.* (2005) mostraram que essa dissipação não é necessariamente equivalente a uma rápida transformação ou biodegradação, pois verificaram uma baixa taxa de mineralização e forte tendência em formar resíduos não extrativos na camada mais superior do solo.

3- SORÇÃO

A sorção e a fixação de diferentes antibióticos veterinários nas partículas do solo depende das propriedades físico-química dos antibióticos, prevalecendo condições climáticas, tipo de solo, conteúdo e qualidade da matéria orgânica e outros fatores do meio ambiente (Doretto e Rath (2013)). O coeficiente de adsorção da sulfonamida é função da textura e a matéria orgânica natural (Gao e Perderson (2005)). A sorção das sulfonamidas tendem a aumentar com a capacidade de troca catiônicas (CTC) do solo (Maszkowska *et al.* (2015)).

Antibióticos diferentes tem afinidade de adsorção diferente para a fase sólida, dependendo do valor do seu coeficiente de sorção (K_d), o qual determina a sua mobilidade no meio ambiente. A mobilidade no solo é um indicador do potencial do antibiótico veterinário para se mover pelo solo em direção a zona saturada (Tasho e Cho (2016)).

Para compostos orgânicos ácidos, como a sulfonamida, a sorção dependente de pH também é importante para explicar o transporte e distribuição na interface solo-água (Tülp *et al.* (2009); Bronner e Goss (2010)). Dado que os antibióticos são compostos orgânicos iônicos, a adsorção não depende apenas de polaridade e solubilidade em água, mas também do pH do solo, que também afeta a ionização de antibióticos (Ding *et al.* (2016)).

Pan *et al.* (2016) calcularam o fator de retardo (R_f) para quatro antibióticos, afim de estimar o seu tempo transferência no solo. O valor R_f da sulfametrazina foi relativamente baixo. Isso sugere que a sulfametazina apresenta pequena adsorção no solo, o que, substancialmente diminui a sua resistência.

3.1- Batch

Os modelos comuns não lineares para ajuste de dados da isoterma de adsorção são os de Langmuir, Freundlich e Dubinin - Ashtakhov, os quais foram usados por Liu *et al.* (2016) em seu estudo de adsorção de duas SAs por dois óxidos.

Estudos anteriores revelaram que o pH podia afetar significativamente a adsorção de químicos orgânicos ionizáveis por adsorventes carbônicos (Liu *et al.* (2014); Yu *et al.*, *et al.* (2015)). Para verificar tal fim, Liu *et al.* (2016) realizaram um estudo da adsorção de sulfapiridina (SPY) e sulfatiazol (STZ) em três pHs, como pode ser visto na Figura 1. Esta adsorção seguiu uma ordem de $\text{pH } 5.0 > \text{pH } 1.0 > \text{pH } 11.0$. Os resultados indicaram que os adsorventes possuem a maior adsorção para as moléculas neutras seguido pelas espécies de SPY e STZ carregadas positivamente e negativamente.

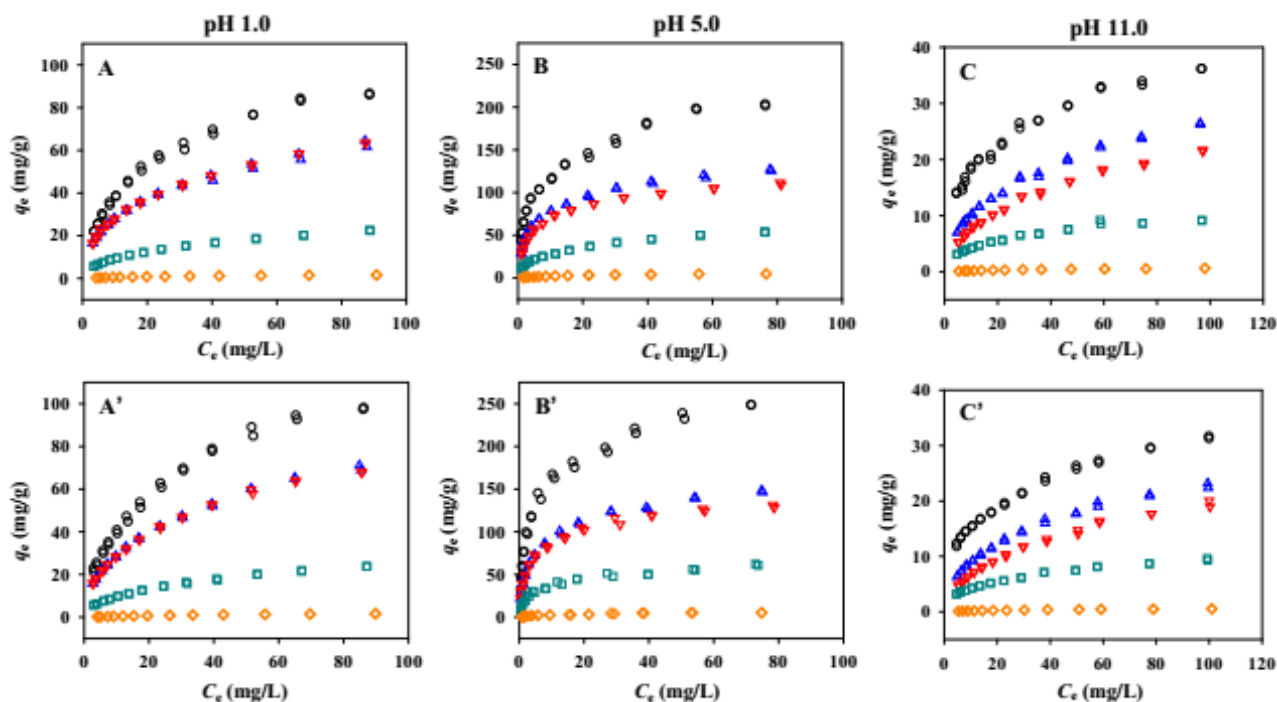


Figura 1 - Isothermas de adsorção da SPY (A, B e C) e STZ (A', B' e C') em Manotubos de carbono de parede única (○), Óxido de grafeno reduzido 1 (△), Óxido de grafeno reduzido 2 (▽), Nanotubos de carbono em multicamadas (□), e grafite (◇) (Fonte: Liu *et al.* (2016)).

Park e Huwe (2016) investigaram os efeitos do pH nas características de adsorção. Os parâmetros de sorção baseados na isoterma de Freundlich foram estimados pelo método de regressão não-linear. Dentro do alcance de pH 4.0 e 8.0 o coeficiente de adsorção (K_d) demonstra ser fortemente dependente do pH, o que significa que dentre os antibióticos escolhidos, as sulfonamidas foram adsorvidos facilmente pelos materiais do solo em baixo pH de solução aquosa. A reação da sorção foi consistente com as mudanças nas frações de antibióticos sulfonamidas ionizados, desde que eles transformem de sua espécie catiônica para neutro e espécie aniônica com aumento de pH. Formas carregadas positivas e neutras são eletrostaticamente ligadas a superfície do solo mineral carregada negativamente. A presença de matéria orgânica no solo pode causar também a sorção dependente do pH. Ainda de acordo com Park e Huwe (2016) as isothermas de adsorção da sulfadimetoxina e dos tracadores se apresentaram como não-linear e bem ajustadas com a isoterma de Freundlich.

3.2- Colunas

A SDZ faz parte do grupo sulfonamides e apresenta uma mobilidade no solo tida como rápida. Contudo, um avanço incompleto da SDZ foi observado em diversos estudos de transporte. Este foi raramente encontrado em colunas de lixiviados e estudos de plotagem, e a maioria do SDZ aplicado foi retido na parte superior do solo.

Analisando o solo inderfomado, Park e Huwe (2016) encontraram Tocas desenvolvidas por minhocas, raízes das plantas e rachaduras foram encontradas nas colunas não perturbadas. Consequentemente, o fluxo preferencial estava ativo nos macroporos. O distúrbio dos solos levou a eliminação de canais de macroporos em colunas de solo perturbado e, portanto, o fluxo da matriz foi dominante em colunas de solo perturbadas. As curvas de eluição das Sulfonamidas obtidas a partir de colunas indeformadas de solo apresentaram tempo de pico menor que aqueles observados em colunas de solo perturbados (Park e Huwe (2016)), conforme a Figura 2.

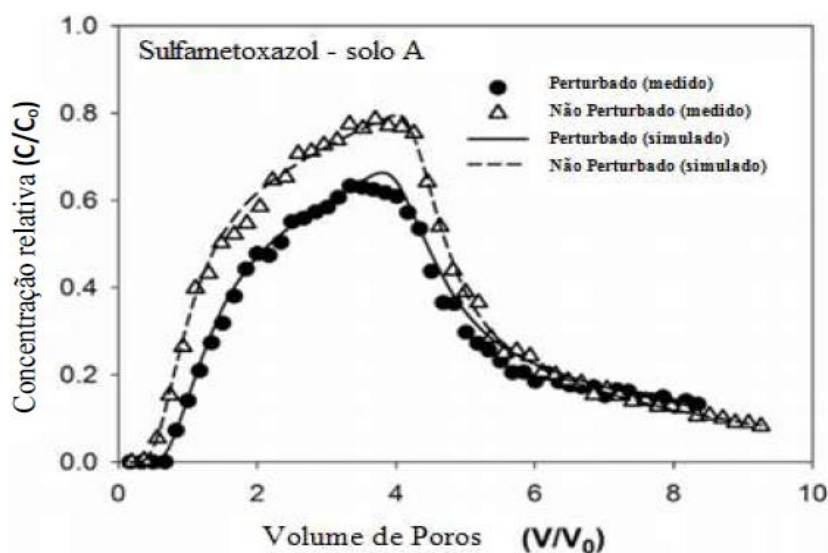


Figura 2 - Curva de eluição da Sulfonamida (adaptado de Park e Huwe (2016))

A cauda longa das curvas de eluição das sulfonamidas no efluente da coluna provou que o processo de transporte era de não equilíbrio e com provável influencia da histerese. Em experimentos de coluna e de transporte de campo, a histerese de sorção pode ocorrer em avanços incompletos, em que uma parte dos solutos é retida na camada superior do solo (Wehrhan *et al.* (2007)).

Yang *et al.* (2010) relataram que a degradação dos antibióticos sulfonamida no solo e na interface água-solo é uma reação lenta. Vanderborght *et al.* (2002) usaram o modelo de dupla porosidade para estudo do traçador sulfonamina B. Eles verificaram que a capacidade de sorção da zona móvel é menor do que da zona imóvel.

Park e Huwe (2016) efetuaram experimentos de coluna para os antibióticos de sulfonamida para diferentes valores de pH. Com o aumento do valor do pH nas soluções aplicadas, as concentrações de pico das sulfonamidas em lixiviado foi aumentada, independentemente da origem

do solo e da sua homogeneidade. Isso demonstrou que as sulfonamidas foram transportadas rapidamente através das colunas de solo em condição de pH elevado (Park e Huwe (2016)).

4- CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou alguns casos da interação solo-sulfanomidas a partir de uma revisão de literatura. A maioria dos trabalhos apresentados demonstram que os complexos mecanismos de transporte de sulfanomidas em solos não são apenas função do concentração, dependendo também do pH e da temperatura do solo. Os trabalhos recentes demonstraram que as isotermas de sorção para as sulfanomidas apresentam uma tendência de comportamento não linear.

5- BIBLIOGRAFIA

ANBALAGAN, C., LAFAYETTE, I., ANTONIOU-KOUROUNIOTI, M., GUTIERREZ, C., MARTIN, J. R., CHOWDHURI, D. K., & DE POMERAI, D. I. (2013). "*Use of transgenic GFP reporter strains of the nematode Caenorhabditis elegans to investigate the patterns of stress responses induced by pesticides and by organic extracts from agricultural soils.*" *Ecotoxicology* 22(1), 72-85.

BERENDONK, T. U., MANAIA, C. M., MERLIN, C., FATTA-KASSINOS, D., CYTRYN, E., WALSH, F., & KREUZINGER, N. (2015). "*Tackling antibiotic resistance: the environmental framework.*" *Nature Reviews Microbiology* 13(5), 310-317.

BINH, C. T. T., HEUER, H., KAUPENJOHANN, M., & SMALLA, K. (2008). "*Piggery manure used for soil fertilization is a reservoir for transferable antibiotic resistance plasmids.*" *FEMS microbiology ecology* 66(1), 25-37.

BRONNER, G., & GOSS, K. U. (2010). "*Sorption of organic chemicals to soil organic matter: influence of soil variability and pH dependence.*" *Environmental science & technology*, 45(4), 1307-1312.

CHEN, C., LI, J., CHEN, P., DING, R., ZHANG, P., & LI, X. (2014). "*Occurrence of antibiotics and antibiotic resistances in soils from wastewater irrigation areas in Beijing and Tianjin, China.*" *Environmental Pollution* 193, 94-101.

CHEN, W., XU, J., LU, S., JIAO, W., WU, L., & CHANG, A. C. (2013). "*Fates and transport of PPCPs in soil receiving reclaimed water irrigation.*" *Chemosphere* 93(10), 2621-2630.

DING, H., WU, Y., ZOU, B., LOU, Q., ZHANG, W., ZHONG, J., & DAI, G. (2016). "*Simultaneous removal and degradation characteristics of sulfonamide, tetracycline, and quinolone antibiotics by laccase-mediated oxidation coupled with soil adsorption.*" *Journal of hazardous materials* 307, 350-358.

- DORETTO, K. M., & RATH, S. (2013). "Sorption of sulfadiazine on Brazilian soils." *Chemosphere* 90(6), 2027-2034.
- FATTA-KASSINOS, D., KALAVROUZOTIS, I. K., KOUKOULAKIS, P. H., & VASQUEZ, M. I. (2011). "The risks associated with wastewater reuse and xenobiotics in the agroecological environment." *Science of the Total Environment* 409(19), 3555-3563.
- GAO, J., & PEDERSEN, J. A. (2005). "Adsorption of sulfonamide antimicrobial agents to clay minerals." *Environmental Science & Technology* 39(24), 9509-9516.
- KIM, K. R., OWENS, G., KWON, S. I., SO, K. H., LEE, D. B., & OK, Y. S. (2011). "Occurrence and environmental fate of veterinary antibiotics in the terrestrial environment." *Water, Air, & Soil Pollution* 214(1-4), 163-174.
- KREUZIG, R., & HÖLTGE, S. (2005). "Investigations on the fate of sulfadiazine in manured soil: laboratory experiments and test plot studies." *Environmental Toxicology and Chemistry* 24(4), 771-776.
- KUMAR, K., GUPTA, S. C., BAIDOO, S. K., CHANDER, Y., & ROSEN, C. J. (2005). "Antibiotic uptake by plants from soil fertilized with animal manure." *Journal of Environmental Quality* 34(6), 2082-2085.
- KÜMMERER, K., & HENNINGER, A. (2003). "Promoting resistance by the emission of antibiotics from hospitals and households into effluent." *Clinical Microbiology and Infection* 9(12), 1203-1214.
- LIU, F. F., ZHAO, J., WANG, S., DU, P., & XING, B. (2014). "Effects of solution chemistry on adsorption of selected pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) by graphenes and carbon nanotubes." *Environmental science & technology* 48(22), 13197-13206.
- LIU, F. F., ZHAO, J., WANG, S., & XING, B. (2016). "Adsorption of sulfonamides on reduced graphene oxides as affected by pH and dissolved organic matter." *Environmental Pollution* 210, 85-93.
- MARTÍNEZ-CARBALLO, E., GONZÁLEZ-BARREIRO, C., SCHARF, S., GANS, O. (2007). "Environmental monitoring study of selected veterinary antibiotics in animal manure and soils in Austria". *Environmental Pollution*,148(2), 570–579.
- MASZKOWSKA, J., BIAŁK-BIELIŃSKA, A., MIODUSZEWSKA, K., WAGIL, M., KUMIRSKA, J., & STEPNOWSKI, P. (2015). "Sorption of sulfisoxazole onto soil—an insight into different influencing factors." *Environmental Science and Pollution Research* 22(16), 12182-12189.
- PAN, M., & CHU, L. M. (2016). "Adsorption and degradation of five selected antibiotics in agricultural soil." *Science of The Total Environment* 545, 48-56.
- PARK, J. Y., & HUWE, B. (2016). "Effect of pH and soil structure on transport of sulfonamide antibiotics in agricultural soils." *Environmental Pollution* 213, 561-570

- SHORE, R. F., TAGGART, M. A., SMITS, J., MATEO, R., RICHARDS, N. L., & FRYDAY, S. (2014). "Detection and drivers of exposure and effects of pharmaceuticals in higher vertebrates." *Phil. Trans. R. Soc. B* 369(1656), 20130570.
- TASHO, R. P., & CHO, J. Y. (2016). "Veterinary antibiotics in animal waste, its distribution in soil and uptake by plants: A review." *Science of the Total Environment* 563, 366-376.
- UDIKOVIC-KOLIC, N., WICHMANN, F., BRODERICK, N. A., & HANDELSMAN, J. (2014). "Bloom of resident antibiotic-resistant bacteria in soil following manure fertilization." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111(42), 15202-15207.
- VAN BOECKEL, T. P., BROWER, C., GILBERT, M., GRENFELL, B. T., LEVIN, S. A., ROBINSON, T. P., & LAXMINARAYAN, R. (2015). "Global trends in antimicrobial use in food animals." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112(18), 5649-5654.
- VANDERBORGHT, J., GÄHWILLER, P., WYDLER, H., SCHULTZE, U., & FLÜHLER, H. (2002). "Imaging Fluorescent Dye Concentrations on Soil Surfaces." *Soil Science Society of America Journal* 66(3), 760-773.
- WALSH, F., INGENFELD, A., ZAMPICOLLI, M., HILBER-BODMER, M., FREY, J. E., & DUFFY, B. (2011). "Real-time PCR methods for quantitative monitoring of streptomycin and tetracycline resistance genes in agricultural ecosystems." *Journal of microbiological methods*, 86(2), 150-155.
- WANG, M., & TANG, J. C. (2010). "Research G. of Antibiotics Pollution in Soil Environments and its Ecological Toxicity." *J Agro-Environ Sci*, 29(supl), 261-266.
- WEHRHAN, A., KASTEEL, R., SIMUNEK, J., GROENEWEG, J., & VEREECKEN, H. (2007). "Transport of sulfadiazine in soil columns—experiments and modelling approaches." *Journal of contaminant hydrology* 89(1), 107-135.
- WRIGHT, G. D. (2010). "Antibiotic resistance in the environment: a link to the clinic?." *Current opinion in microbiology* 13(5), 589-594.
- YANG, J. F., YING, G. G., ZHAO, J. L., TAO, R., SU, H. C., & CHEN, F. (2010). "Simultaneous determination of four classes of antibiotics in sediments of the Pearl Rivers using RRLC-MS/MS." *Science of the Total Environment* 408(16), 3424-3432.
- YU, X., ZHANG, L., LIANG, M., & SUN, W. (2015). "pH-dependent sulfonamides adsorption by carbon nanotubes with different surface oxygen contents." *Chemical Engineering Journal* 279, 363-371.

AGRADECIMENTOS - Os autores agradecem a Fundação de Amparo a Ciência do Estado de Pernambuco- FACEPE pela concessão de bolsa de mestrado para a primeira autora. A CAPES pela concessão de bolsa de doutorado ao terceiro autor.