



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

ADRIANO ANDRADE RAMBO

**IMPACTOS AMBIENTAIS DE EFLUENTES DE ORIGEM HOSPITALAR EM MEIO
HÍDRICO E PROPOSTA DE TRATAMENTO POR PLASMA NÃO TÉRMICO**



Palhoça, 2020

ADRIANO ANDRADE RAMBO

**IMPACTOS AMBIENTAIS DE EFLUENTES DE ORIGEM HOSPITALAR EM MEIO
HÍDRICO E PROPOSTA DE TRATAMENTO POR PLASMA NÃO TÉRMICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências ambientais, como quesito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientadora: Dr. Ana Regina de Aguiar Dutra
Coorientadora: Dr. Anelise Leal Vieira Cubas

Palhoça, 2020

R15 Rambo, Adriano Andrade, 1985-
 Impactos ambientais de efluentes de origem hospitalar em meio hídrico e
 proposta de tratamento por plasma não térmico / Adriano Andrade Rambo. –
 2020.
 66 f. : il. color. ; 30 cm.

 Dissertação (Mestrado) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Pós-
 graduação em Ciências Ambientais.
 Orientação: Profa. Dra. Ana Regina de Aguiar Dutra.
 Coorientação: Profa. Dra. Anelise Leal Vieira Cubas.

 1. Hospitais - Saneamento. 2. Impacto ambiental. 3. Antibióticos. 4.
 Plasma (Gases ionizados). I. Dutra, Ana Regina de Aguiar. II. Cubas, Anelise
 Leal Vieira. III. Universidade do Sul de Santa Catarina. IV. Título.

 CDD (21. ed.) 363.7297

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS –
MESTRADO**

**ATA Nº05/2020 DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO POR
VIDEOCONFERÊNCIA**

Defesa PPGCA Nº19

Aos vinte e oito dias do mês de setembro do ano de dois mil e vinte, às catorze horas, na sala online da plataforma digital Zoom: <https://zoom.us/j/92139968062?pwd=aWF4SHlvLzNxajdNRjltNSt1Q1ZrZz09>, realizou-se a sessão pública de apresentação e defesa de Dissertação de Mestrado de Adriano Andrade Rambo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, de acordo com o Regimento Interno do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – PPGCA/UNISUL. Reuniu-se por videoconferência a comissão avaliadora composta pelos seguintes membros: Dra. Ana Regina de Aguiar Dutra, orientadora e presidente da banca; Dra. Anelise Leal Vieira Cubas, co-orientadora; Dr. Thiago Caique Alves, avaliador externo da Universidade Regional de Blumenau (FURB); Dra. Marina de Medeiros Machado, avaliadora externa da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e professora colaboradora do PPGCA para, sob a presidência da primeira, argüirem o mestrando **Adriano Andrade Rambo**, sobre sua Dissertação intitulada: **“IMPACTO CAUSADO POR EFLUENTE HOSPITALAR: PROPOSTA DE MITIGAÇÃO ASSISTIDO POR PLASMA NÃO TÉRMICO”**, área de concentração “Tecnologia, Ambiente e Sociedade” e linha de pesquisa “Tecnologia & Sociedade”. Após a apresentação, o mestrando foi arguido pelos membros da banca, tendo sido feitos os questionamentos e ouvidas às explicações a comissão avaliadora emitiu o conceito final:

☒ (x) Aprovado

☐ () Aprovado condicionado

☐ () Reprovado

Observações: observar as considerações da banca, as quais devem ser atendidas para aprovação, incluindo o ajuste no título.

Nada mais havendo a tratar, foram encerrados os trabalhos e, tendo sido lida e achada conforme, a presente ata foi assinada pela presidente da sessão, em nome dos avaliadores presentes por videoconferência, pelo mestrando e pela secretária do PPGCA.



Dra. Ana Regina de Aguiar Dutra
Presidente da Sessão

Em nome da Comissão Avaliadora presente por videoconferência




Adriano Andrade Rambo
Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais


Marieli Buganço
Secretária do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais



Fonte: odsbrasil.gov.br

Este projeto de dissertação está inserido no Objetivo de Desenvolvimento Sustentável/ODS números 2 “*Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável*”, 3 “*Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades*” e 6 “*Garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos*” da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU).

Com isso a pesquisa evoluiu tanto no sentido científico como também no âmbito social, pois aponta para contribuir e apoiar os objetivos dos desenvolvimento sustentável para as metas 2.4 no que tange a manter os ecossistemas e melhorar a qualidade da terra e do solo, sem antibiótico, 3.9 reduzir o número de mortes e doenças por contaminação e poluição do ar e água do solo, 6.1 água potável e segura para todos, 6.3 melhorando a qualidade da água, e possibilitando a reutilização segura e 6.a com possibilidade de contribuir internacionalmente e apoiar a capacitação para o tratamento de efluentes e tecnologias de reuso.

RESUMO

Os hospitais e demais instituições prestadoras de serviços de saúde têm sua importância frente a qualidade de vida da população, a exemplo do vivenciado com o vírus da síndrome respiratória aguda grave de coronavírus 2 (SARS-CoV-2), causador da atual pandemia do COVID-19. Nesse período pode-se constatar que muitos países e regiões carecem de avanços para atender a população de forma digna e humanizada. No entanto, os cuidados com o meio ambiente também devem ser levados em consideração e fazem jus atenção, considerando que as condições em que o meio ambiente se encontra interfere diretamente ou indiretamente na saúde da população e o mesmo local que trata e cura, não pode ser o mesmo que promove enfermidades. Nesse sentido a presente dissertação teve por objetivo investigar os possíveis impactos ambientais provenientes dos resíduos e efluentes hospitalares através de uma revisão bibliográfica atual dos últimos cinco anos, compreendendo 2015 a 2019, e descrita em forma de artigo destinado ao primeiro capítulo da dissertação. Transcorrido a pesquisa básica, como resultado desse, observamos em diversos artigos a preocupação, principalmente, nos efluentes hospitalares com o lançamento, a detecção e quantificação de antibióticos como potenciais causadores de impactos ambientais, pois interferem na aceleração e intensificam a resistência antimicrobiana. Assim no intuito de buscar solução para eliminar antibiótico em meio hídrico, para o segundo capítulo, em formato de artigo, objetivamos investigar a degradação do antibiótico cloridrato de tetraciclina em meio hídrico, fortificado, através do plasma não térmico (PNT), que é uma tecnologia limpa, avançada e de fácil aplicação. Os resultados mostraram que o PNT é eficiente na degradação do cloridrato de tetraciclina, apresentando reduções de 91,28%, 92,19% e 93,56% em 10, 15 e 30 min de tratamento, respectivamente. Nos testes de sensibilidade bacteriana foi observado que a atividade do antibiótico foi inibida nas soluções que receberam tratamento do PNT por 15 e 30 minutos. Contudo considera-se que existe necessidade de se monitorar os efluentes hospitalares, pois, são potenciais vias de contaminação dos corpos hídricos por antibióticos; e que existem formas de se tratar e melhorar a qualidade dos efluentes hospitalares; que a resistência antimicrobiana é um risco global extremamente grave que compromete a saúde das pessoas e o ecossistema, e tende a piorar se medidas não forem estabelecidas principalmente pelos tomadores de decisão.

Palavras-chave: Impacto ambiental; água residuária hospitalar; Antibiótico; Plasma não térmico; Cloridrato de tetraciclina.

ABSTRACT

The importance of hospitals and other institutional sets of health service providers is undoubtedly deserved and of utmost need in view of the diversity of possible or unknown complications as experienced with the virus of severe acute coronavirus respiratory syndrome 2 (SARS-CoV-2), which causes the current pandemic of COVID-19. During this period we can see that many countries and regions lack progress to serve the population in a dignified and humanized way. However, care for the environment should also be taken into account and pay attention, considering that the conditions in which the environment is directly or indirectly interferes with the health of the population and the same place that treats and cures, cannot be the same that promotes diseases. In this sense, this dissertation aimed to investigate the possible environmental impacts arising from hospital waste and effluents through a current literature review of the last five years, comprising 2015 to 2019, and described in the form of an article intended for the first chapter of the dissertation. After the basic research, as a result of this, we observed in several articles the concern, mainly, in effluents and wastewater with the release, detection and quantification of antibiotics as potential causes of environmental impacts, because they interfere in the acceleration and intensify antimicrobial resistance. Thus, in order to seek a solution to eliminate antibiotics in water, for the second chapter, in article format, we aimed to investigate the degradation of the antibiotic tetracycline hydrochloride in water, fortified, through the use of non-thermal plasma (PNT), which is a clean, advanced and easy-to-apply technology. The results showed that the PNT is efficient in the degradation of tetracycline hydrochloride, presenting reductions of 91.28%, 92.19% and 93.56% in 10, 15 and 30 min of treatment, respectively. Bacterial sensitivity tests showed that antibiotic activity was inhibited in solutions that received PNT treatment for 15 and 30 minutes. However, it is considered that there is a need to monitor wastewater and hospital effluents, because they are potential routes of contamination of water bodies and derived by antibiotics; and that there are ways to treat and improve the quality of hospital effluents; that antimicrobial resistance is an extremely serious global risk that compromises people's health and the ecosystem, and tends to get worse if measures are not primarily established by decision makers.

Keywords: environmental impact; hospital wastewater; antibiotic; non thermal plasma; Tetracycline hydrochloride.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A preocupação com o meio ambiente no âmbito científico e social não é tão recente. No século VI a.C, escritas de Alcmeão e Hipócrates, médicos-filósofos, avô e pai da medicina, manifestavam relações ambientais com efeitos na saúde humana. Segundo Jullivet e Pavê (1997) inquietações por problemáticas sociais, de efeitos antrópicos globais, originam no século XVIII através de relatórios e posicionamentos para tomadas de decisões políticas no que diz respeito a poluição ambiental, esgotamento de recursos naturais e urbanização acelerada e mal concebida (FILHO, 2007; FREIE VIEIRA AND WEBER, 1997).

É fato que a revolução industrial influenciou significativamente no aumento populacional, em 1700 eram 500 milhões de habitantes no mundo, e em 1800 1 bilhão. Com interferência no meio ambiente, refletindo na saúde da população, teorias higienistas inspiraram tratados ligados a organização das cidades, que intervieram nas instalações de instituições, sendo levadas para longe aquelas precursoras de doenças por vetores ou que prejudicava a qualidade do ar, da água e solo como hospitais, presídios, cemitérios, abatedouros e dentre outros. Nesse período os avanços foram muito importantes para a saúde, qualidade de vida e desenvolvimento das cidades, ainda assim, trouxe consigo a necessidade ampliada de cuidados médicos (COSTA, 2013; HORVATIN, 2016).

No século XIX, os medicamentos eram de origem natural, a partir da segunda metade do século XX, na chamada “explosão farmacológica” ganham notoriedade na ação de doenças até então incuráveis, e maciçamente desejados pela cura entram na escala industrial. O uso de antibióticos, utilizados no tratamento de infecções, data do início do século XX com a descoberta da salvarsan (1910), penicilina (1928), proflavina(1934), em 1936 a sulfonilamida se destaca, porém, anos depois se torna ineficaz perante bactérias resistentes. Impulsionado o avanço da pesquisa pela descoberta de novos antibióticos, ao final dos anos 60, diversos outros antibióticos foram descobertos, como por exemplo, as tetraciclina, eritromicina, trimetopim, metronidazol (GUIMARÃES ET AL., 2010).

Além do uso para o tratamento da saúde humana os antibióticos são utilizados na produção agrícola e animal. A China é a maior produtora e usuária de antibiótico do mundo no segmento, dos quais, os animais consomem mais da metade. Uma pesquisa de

2020 feita em 88 fazendas de frangos na China, 100% relataram utilizar antibióticos. Ainda estima-se um crescimento de 143% no consumo em fazendas de frango entre 2010 a 2030. No tratamento a saúde, em pesquisa da OMS (2018) realizada em 2015 em 65 países destacou-se com maior consumo em doses diária por mil habitantes dia, na África a Tanzânia (27,2), nas Américas o Brasil (22,75), na Europa a Turquia (38,18) e Grécia (33,85), no mediterrâneo oriental o Irã (38,78), e no pacífico ocidental a Mongólia (64,41). Estados Unidos da América e China não participaram da pesquisa mas configuram entre os maiores produtores e consumidores do mundo (OMS, 2018; XU ET AL., 2020).

Os antibióticos, assim como os β -bloqueadores, anti-inflamatórios, analgésicos e dentre outros de origem antrópica, pertencem a classe dos fármacos na categorização de poluentes emergentes, ou também, considerados micropoluentes orgânicos, chamados compostos de preocupação emergentes. Os microcontaminantes ou micropoluentes emergentes são substâncias orgânicas ou minerais com potencial tóxico, de difícil degradação, cumulativas, portanto persistentes, que podem ter impacto negativo porém ainda pouco conhecido. Portanto, muitas substâncias carecem de monitoramento e regulação e controle por parte dos tomadores de decisão para determinar a quantidade para lançamento de efluentes (BARCELÓ, 2003; HALDEN, 2015; REICHERT ET AL., 2019).

Considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 1986)

Consideravelmente o alto consumo de antimicrobianos trazem impactos cada vez mais sérios aos ecossistemas e a saúde pública. Em alguns países, mais da metade dos antibióticos são erroneamente utilizados, chegando a casos em que são utilizados para tratar vírus, ou aqueles de maior espectro e como preventivos pós cirúrgicos. As instituições de saúde, fazendas ou indústrias que mal administram e controlam o uso e o descarte de seus resíduos e efluentes também contribuem para os impactos (ONU, 2019a, 2019b, 2018).

Para o Diretor da OMS, Tedros Adhanom Ghebreyesu, “A resistência antimicrobiana é um dos mais urgentes riscos à saúde do nosso tempo e ameaça desfazer um século de progresso”. A Mariângela Simão, diretora-geral adjunta de Acesso a Medicamentos diz o seguinte:

“A resistência antimicrobiana é uma pandemia invisível, já estamos começando a ver sinais de uma era pós-antibiótica, com o surgimento de infecções que são intratáveis por todas as classes de antibióticos. Devemos proteger esses preciosos antibióticos de última geração para garantir que ainda possamos tratar e prevenir infecções graves”(ONU, 2019b).

Segundo pareceres e relatório da ONU, até 2050, 10 milhões de pessoas no mundo poderão morrer a cada ano devido a doenças resistentes a medicamentos. Até 2030, a resistência antimicrobiana poderá levar 24 milhões de pessoas à pobreza extrema, devido a aumentos com os gastos de saúde e a prejuízos para os sistemas alimentares (ONU, 2019b). Nos Estados Unidos da América e Europa se estima a morte por ano de pelo menos 23 mil e 25 mil, respectivamente, causado por doenças infecciosas por bactérias resistentes (OURGHANLIAN ET AL., 2020).

Considerável parcela de contribuição de antibióticos nos meios hídricos são provenientes dos efluentes hospitalares, pois, os casos mais graves de infecções são tratados nos hospitais com doses maiores e em maior quantidade (KHAN ET AL., 2020; KÜMMERER, 2003; OURGHANLIAN ET AL., 2020; PORTO ET AL., 2020).

Dentre os antibióticos detectados nos meios hídricos, a tetraciclina configura entre os presentes por apresentar um amplo espectro, sendo aplicado na saúde humana, animal e também na agricultura, por isso, é utilizada no mundo todo (AJO ET AL., 2018; FEKADU ET AL., 2015; NG ET AL., 2017; PAULSHUS ET AL., 2019).

Em consonância com preocupações globais, esta pesquisa se alinha aos objetivos do desenvolvimento sustentável da ONU para 2030, ODS-2, ODS-3 e em especial ao ODS-6 que visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos.

Neste sentido, a presente pesquisa foi dividida em dois capítulos que se complementam, o primeiro trata da investigação bibliográfica dos potenciais impactos

provenientes dos resíduos hospitalares, e no segundo foi realizado uma pesquisa aplicada, com proposta de se eliminar um fármaco potencialmente presente em efluentes hospitalares através do plasma não térmico.

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
CONSIDERAÇÕES INICIAIS	7
CAPÍTULO 1	12
Resumo	12
1. Introdução	13
2. Procedimentos Metodológicos	15
3. Fundamentação Teórica	17
4. Resultados e discussões	20
5. Conclusão	29
Referências	30
CAPÍTULO 2	43
Resumo	43
1. Introdução	44
2. Materiais e Métodos	46
2.1. Preparação da amostra	46
2.2 Tratamento por plasma não térmico	46
2.3. Determinação de parâmetros físico-químicas	46
2.4. Avaliação de sensibilidade antimicrobiana	47
2.5 Análise Cromatográfica	47
3. Resultados e Discussão	48
3.1. Da avaliação físico-químico.	48
3.2. Sensibilidade antimicrobiana por difusão de disco	50
3.3. Cromatografia	52
4. Conclusão	56
Referências	56
CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
REFERÊNCIAS	65

CAPÍTULO 1

RESÍDUO HOSPITALAR E SEU IMPACTO: UMA REVISÃO DA LITERATURA¹

Hospital waste and its impacts: A literature review

Resumo

A multiplicidade e complexidade dos potenciais impactos ambientais dos resíduos hospitalares convergem para uma discussão a nível mundial. Nesse sentido, o presente estudo teve por objetivo identificar os impactos ambientais causados pelos resíduos hospitalares, por meio de uma revisão atual da literatura em periódicos científicos, nacionais e internacionais, em quatro bases de dados com as palavras-chave predeterminadas. Vários impactos ambientais puderam ser identificados, os quais podem comprometer a saúde, a segurança e o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais. Conclui-se que as águas residuárias hospitalares estão atualmente em evidência, sendo amplamente discutidos devido a presença de resíduos químicos, fármacos e de microrganismos patogênicos resistentes.

Palavras-chave: Resíduo hospitalar; Águas residuárias hospitalares; Aspectos e impactos Ambientais

Abstract

The diversity and complexity of potential environmental impacts of hospital waste demands for a worldwide debate. Therefore, this study aims to identify the environmental impacts of hospital waste, through a literature review in up-to-date scientific periodicals in four databases with predetermined keywords. Many types of environmental impacts could be identified, which may

¹ Artigo apresentado no VIII Encontro de Sustentabilidade em Projeto – ENSUS 2020, realizado nos dias 12 a 14 de Maio de 2020 na UNISUL e publicado na revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental (ISSN 2238-8753) Qualis CAPES B1.

compromise the public health, security and welfare, the social and economic activities, the biota, the environmental aesthetic and sanitary conditions, and the quality of natural resources. We conclude that hospital wastewaters are currently in evidence, being widely discussed due the presence of chemical waste, drugs and pathogenic resistant microorganisms.

Keywords: *Hospital waste; Biomedical Waste; Hospital Wastewater; Hospital environmental aspects and impacts*

1. Introdução

Na cúpula da Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015, todos os 193 Estados-Membros adotaram a nova “Agenda 2030” para o desenvolvimento sustentável, em substituição ao antigo objetivo de desenvolvimento do milênio que tinha como principal propósito combater a pobreza. Complementarmente os novos 17 objetivos e as 169 metas buscam promover o crescimento e bem-estar de todos, preservar e defender o meio ambiente e manter as mudanças climáticas dentro de patamares cientificamente aceitáveis (CAMPOS, 2015; ONU, 2015a).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), subordinada à ONU, objetiva promover a saúde, e estabelece que os resíduos dos serviços de saúde compreendem aqueles gerados por diversas atividades hospitalares, centros de saúde, farmácias e laboratórios, onde evidencia-se a geração de resíduos patogênicos, produtos químicos, farmacêuticos e quimioterápicos, bem como materiais radioativos (CHARTIER et al., 2014). Nesse contexto, os resíduos dos serviços de saúde, em especial o resíduo hospitalar, compreendem tanto materiais sólidos e líquidos como também gasosos, que necessitam de severo e assertivo gerenciamento para garantir a segurança e a saúde das pessoas e do meio ambiente, sejam no meio terrestre, aquático e atmosférico. Destacam-se dentre os Objetivos do Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) da ONU os ODS-3 (saúde e bem-estar das pessoas), ODS-6 (disponibilidade e gestão sustentável da água), ODS-12 (produção e consumo sustentável) e ODS-13 (combate a mudanças climáticas) (ONU, 2015b).

Segundo o Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES), o Brasil possui 5086 hospitais gerais, 953 hospitais especializados de um total de 343.777 estabelecimentos de saúde distribuídos em 85 tipos. Santa Catarina apresenta 18.255 estabelecimentos de saúde (novembro/2019). Dentre estes estabelecimentos, 304 postos de saúde, 1.566 unidades básicas, 2.633 são clínicas especializadas/ambulatórios especializados e 1.430 são unidades de serviço de apoio de diagnose e terapia. O Estado apresenta pouco menos de 200 hospitais gerais e 23 especializados, representando aproximadamente (1,10% e 0,13%). Ainda com relação ao atendimento à saúde humana, de acordo com o Conselho Regional de Farmácia do Estado de Santa Catarina (CRF/SC), o número de estabelecimentos farmacêuticos ativos, farmácias, drogarias, indústrias farmacêuticas, laboratórios, distribuidoras dentre outros é de 6.716 (outubro/2019). (BRASIL, 2019; CRF/SC, 2019)

O resíduo hospitalar tem sido amplamente discutido por pesquisadores e gestores públicos no que tange a geração, manejo, passando pelo manuseio na segregação, acondicionamento, transporte, tratamento e destinação final, como também a capacidade de causar impactos aos ecossistemas e meio ambiente (HRENOVIC et al., 2019; NITIKA et al., 2017; PATEL et al., 2012).

Nos processos de gerenciamento de resíduo hospitalar o resíduo perigoso necessita de cuidados especiais por ser potencialmente poluidor, passando por mais etapas antes de sua disposição final. Contudo, ambos podem causar impactos diretos ou indiretos, desde infecção ou acidente pessoal, a contaminação de solo, águas residuárias ou superficiais ou ar, e assim, afetar negativamente a biota e abiota de forma aguda ou crônica. (CHAERUL; TANAKA; SHEKDAR, 2008; CHARTIER et al., 2014; KWIKIRIZA et al., 2019).

Nesse sentido, o presente estudo teve por objetivo a pesquisa na literatura científica nacional e internacional atual, a fim de identificar os impactos no meio ambiente a partir dos resíduos hospitalares.

2. Procedimentos Metodológicos

A abordagem da presente pesquisa é qualitativa, buscando garantir a objetividade e a produção de uma análise sistemática (MINAYO, 2012). A natureza da pesquisa é básica, na pretensão de buscar elementos novos que tragam um olhar mais profundo sobre o assunto abordado, sem se preocupar neste momento com a aplicação.

Como procedimento foi adotada a revisão da literatura por pares de forma sistemática de artigos periódicos eletrônicos através do acesso remoto via Comunidade Acadêmica Federada (CAFe) ao conteúdo disponível pela Universidade do Sul de Santa Catarina conveniadas a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), para tanto adotou-se as seguintes etapas para compor o método:

1ª etapa, construir a pergunta norteadora: Quais os impactos dos resíduos hospitalares no meio ambiente?

2ª etapa, escolher as bases para as buscas dos artigos. Neste momento, foram adotadas as bases: Web of Science, Scopus, Scielo e Proquest, as quais apresentam alta relevância dentro do contexto científico, bem como por serem fontes multidisciplinares, considerando a relevância do tema para as ciências ambientais.

3ª etapa, eleger os termos de busca. Os termos de busca foram: “hospital waste”, “hospital waste” AND chemical, “hospital waste” AND microbiological, “hospital waste” AND “environmental impacts”, “hospital waste” AND Health, e “hospital wastewater”. A opção pela língua inglesa se deu em função de que as revistas de maior impacto e com expressivas exigências para publicação se encontram em inglês. Ainda se buscou palavras-chave inicialmente mais amplas para estender as possibilidades de buscas, bem como os assuntos que poderiam ser relacionar, no entanto para refinar a busca e ampliar as possibilidades de busca, utilizou-se de termos previamente conhecidos para somar a palavra-chave “hospital waste”.

4ª etapa, buscar e armazenar os dados. A busca dos dados ocorreu no período de 30 de agosto a 14 de outubro de 2019. Utilizou-se para tanto alguns critérios: busca por somente artigos dos últimos cinco anos (2015-2019) e de acesso livre. A primeira busca foi feita na base WEB OF SCIENCE, na opção “Topic” compreendendo título, resumo e

palavras-chave, posteriormente na base SCOPUS na opção “Article title, Abstract, Keywords”, na base SCIELO com opção “All index” compreendendo todo o índice, e por fim na base ProQuest (Engineering Database), acrescentando-se a limitação de busca no filtro “document feature” excluindo todos os recursos documentais disponíveis na aba. Após realizar a busca em cada base de dados gerou-se uma lista em arquivo com os dados dos artigos: autores, título, data, revista, “Digital Object Identifier” (DOI) e endereço eletrônico.

5ª etapa, selecionar os artigos pelo título e resumo. Nas listas das buscas das bases de dados foram selecionados aqueles artigos que tivessem relação com a pergunta norteadora, ou seja, foram selecionados os artigos pelo título que apresentavam o assunto resíduo hospitalar, impactos ambientais, gestão de resíduos de saúde ou qualquer relação que pudesse trazer o aspecto norteador. O título apresentando pouca relação parte-se para consulta do resumo com objetivo de se certificar que realmente poderia constar alguma informação importante sobre algum tipo de impacto ambiental, por menor era considerado. Os artigos, todos disponíveis em Portable Document Format (PDF) foram baixados e salvos nas respectivas pastas eletrônicas e adicionados ao programa Mendeley posteriormente. Entretanto, antes dos artigos serem baixados ou incluídos no Mendeley verificou-se a duplicidade.

6ª etapa, avaliar os artigos. Nessa etapa, definitivamente, buscou-se a leitura dos artigos filtrados, para assegurar que traziam realmente assunto de interesse da pesquisa, e aqueles que não se obteve dados relevantes para a pesquisa se mantiveram, a fim de servir de lacuna para uma possível pesquisa futura, ou simplesmente demonstrar a problemática em relação ao assunto tratado, mostrando a qualidade da produção acadêmica em determinada área.

7ª etapa, extrair os dados. Para a extração dos dados utilizou-se ferramentas computacionais disponível no modo gratuito. O “ATLAS.ti”, serviu para formar nuvem de palavra através da relação possível entre os artigos previamente selecionados, o programa fica disponível em <<https://atlasti.com/free-trial-version/>>. Foi possível utilizar a ferramenta “Mendeley”, disponível também de forma gratuita em <<https://www.mendeley.com/download-desktop/>>, para o arquivamento, organização e extração dos dados dos artigos. Ainda a ferramenta “VOSviewer” pode contribuir para

se estabelecer as relações de assuntos e temas mais evidentes presentes nas palavras-chave, mapeando as conexões entre si, nesse sentido foi selecionado o mínimo de 4 co-ocorrências, “VOSviewer” está disponível gratuitamente em <https://www.vosviewer.com/download>.

Na 8ª etapa elaborou-se a fundamentação teórica. Os conceitos pertinentes aos artigos revisados foram apresentados, no que tange aos impactos ambientais que estão sendo discutidos atualmente e, ainda, sintetizou-se as diversas áreas do conhecimento para um estreito entendimento e suas projeções.

Na 9ª etapa apresentou-se os resultados e discussões. Nessa etapa os resultados da pesquisa foram demonstrados a partir de tabelas, gráficos e figuras. Ainda buscou-se identificar gargalos e contribuições que podem ser observados pelos serviços de saúde no que diz respeito aos impactos, dessa forma instigando cada vez mais a melhoria contínua nos ambientes laborais e nos ecossistemas potencialmente suscetíveis ao ambiente hospitalar.

Na 10ª e última etapa, constitui-se o espaço para conclusões.

3. Fundamentação Teórica

Os resíduos hospitalares são convencionalmente divididos em duas categorias: resíduos perigosos e não perigosos. São normatizados por órgãos governamentais, seguidos por convenções e cada Estado trabalha a regulamentação e fiscalização própria. No Brasil a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) regulamentou as boas práticas de gerenciamento dos resíduos dos serviços de saúde através da Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 222/2018 e classificou os resíduos dos serviços de saúde em: A “[...]resíduos com a possível presença de agentes biológicos que, por suas características, podem apresentar risco de infecção[...]”, B “[...]resíduos contendo produtos químicos que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade[...]”, C “[...]rejeitos radioativos[...]”, D “[...]resíduos que não apresentam risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares[...]” e E:

[...]resíduos perfurocortantes ou escarificantes, tais como: lâminas de barbear, agulhas, escalpes, ampolas de vidro, brocas, limas endodônticas, fios ortodônticos cortados, próteses bucais metálicas inutilizadas, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas, tubos capilares, micropipetas, lâminas e lamínulas, espátulas e todos os utensílios de vidro quebrados no laboratório (pipetas, tubos de coleta sanguínea e placas de Petri) [...] (BRASIL, 2018).

Para FARZADKIA et al. (2018), os resíduos são classificados em infecciosos e não infecciosos em se tratando dos resíduos provenientes dos serviços médicos, “medical waste”: materiais perfurocortantes, tecidos humanos, partes de corpos, materiais farmacêuticos, patológicos, radioativos e químicos, roupas, têxteis e outros materiais infecciosos. Ainda destaca que o resíduo além de ter o potencial infeccioso direto, podem também as patogenidades percorrem ambientes hídricos e contaminar a água, colocando em risco não somente a equipe de saúde e pacientes como também as pessoas fora do ambiente hospitalar. Já para IRIANTI (2016) resíduo hospitalar é um subproduto das atividades do serviço hospitalar em que uma pequena parte apresenta grandes riscos para a saúde dos trabalhadores do hospital, operadores de resíduos, comunidade e meio ambiente.

O volume de resíduo hospitalar não somente está diretamente relacionado ao quantitativo de leitos, por indivíduo, mas também pelas especialidades médicas e atividades envolvidas, bem como a característica de desenvolvimento do Estado. Aqueles países desenvolvidos tendem a produzir maior quantidade de resíduo hospitalar em relação aos países subdesenvolvidos, pois apresentam ampla gama de serviços médicos, maior a oportunidades de tratamento devido as tecnologias, ocasionando acúmulo de resíduos médicos e um problema crítico cada vez mais evidente (AL-KHATIB; ELEYAN; GARFIELD, 2016).

Durante a maior parte do tempo a humanidade usufruía dos recursos naturais sem se preocupar muito com as consequências das alterações dos ecossistemas, ainda que essencialmente a adaptação era possível e naturalmente regulada. Entretanto partir principalmente do fim da segunda guerra mundial, segunda metade do século XX, em que o mundo se dividia, os territórios se estabeleciam, as interações políticas e comerciais aquecem a economia e os avanços tecnológicos, questionamentos sobretudo dos impactos do desenvolvimento econômico e do crescimento populacional vividos se

manifestavam, e colocavam as condições ambientais em evidência (ESTENSSORO SAAVEDRA; RUBENS CENCI, 2014). Assim surgiram publicações como:

A Lei da Entropia e o Processo Econômico e se difunde mundialmente o estudo do Club de Roma, Os Limites do Crescimento (MEADOWS et al, 1972), marcando os limites que a natureza impõe à racionalidade econômica. (LEFF, 2011), p.310.

Na Conferência da ONU em Estocolmo em 1972, ficou entendido que o mundo poderia sofrer adversidades ambientais irreversíveis, se continuasse a usufruir dos meios naturais sem qualquer cuidado com o meio ambiente. Nesse sentido adotamos o entendimento que o impacto ambiental está diretamente ligado ao fator antropogênico.

Em 1981 no Brasil foi criada a lei que estabelecia a Política Nacional do Meio Ambiente com objetivo da preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana. Em seu artigo 3º apresenta-se o termo degradação da qualidade ambiental, a alteração adversa das características do meio ambiente e o termo poluição:

[...] III - poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos;

A Resolução do CONAMA Nº 001, de 23 de janeiro de 1986, que visa atender a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), discorre o seguinte:

Considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II - as atividades sociais e econômicas;
- III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais.

Sabe-se que o termo meio ambiente é complexo e multidisciplinar nos âmbitos das ciências globais (LEFF, 2011). As ciências ambientais, no Brasil, têm como marco o ano de 2011 (BRASIL, 2016) trazendo a missão de compreender e solucionar as problemáticas sociais e ambientais. Entretanto é necessário entender um pouco mais epistemologicamente o sentido do termo meio ambiente. De uma maneira geral meio ambiente é entendido como aquilo que nos circunda enquanto seres humanos em um espaço e tempo determinado. Ao nosso redor circunda um conjunto de meios naturais e artificiais, em que o homem integra, como parte apropriador e degradador desses meios. Nesse sentido para a área das ciências ambientais, o meio ambiente é o conjunto de agentes físicos, químicos e biológicos e de fatores sociais suscetíveis de produzir um efeito direto ou indireto, mediato ou imediato sobre os seres vivos e as atividades humanas, que leva em consideração os modos de vida para a sustentabilidade. (FREIRE VIEIRA; WEBER, 1997).

4. Resultados e discussões

De acordo com os dados analisados, a Tabela 1 mostra o resultado quantitativo de artigos que foram localizados nas respectivas bases de dados utilizando os termos de

Base de Dados Termos de busca	Web of Science	Scopus	SciELO	ProQuest (Engineering Database)
<i>"hospital waste"</i>	58	127	7	84
<i>"hospital waste" AND Chemical</i>	10	17	2	60
<i>"hospital waste" AND microbiological</i>	3	0	0	13
<i>"hospital waste" AND "Environmental impacts"</i>	3	9	0	9
<i>"hospital waste" AND "Health"</i>	35	83	6	75
<i>"hospital wastewater"</i>	66	64	6	136

Tabela 1: Resultado de busca nas bases de dados. Fonte: Elaborado pelos autores.

buscas pré definidos na etapa 3 da metodologia.

Na base de dados ProQuest encontrou-se um número maior de artigos, porém, pouco foram aproveitados, pois, essa base de dados não restringia a busca pelos títulos

dos artigos, resumos ou palavras-chave, apenas foi possível extinguir a busca em figuras, imagens, tabelas, gráficos diagramas e referências. A segunda base de dados com mais artigos relacionados foi a “Scopus”, seguida da “Web of Science”, ambas tiveram o melhor aproveitamento de artigos, 69 e 64, respectivamente, ainda que muitos em duplicidade. Por último, a Scielo teve um resultado insatisfatório, comparando com as duas bases já citadas. A “Scielo” é resultado de um projeto de pesquisa da FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, em parceria com a BIREME - Centro Latino-Americano e do Caribe de Informação em Ciências da Saúde, permite a busca integrada de artigos dos periódicos dos países de sua rede, Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, Cuba, Espanha, Portugal, Venezuela, Saúde Pública, Social Sciences, justificando seu resultado.

Dentre os termos que tiveram maior número de artigos levantados foram “hospital Waste”, e “Hospital Wastewater”.

O Gráfico 1 apresenta a classificação feita pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), vinculada ao Ministério da Educação (MEC) dos periódicos científicos em relação aos artigos publicados dos programas de pós-graduação em revistas científicas ao longo do tempo. A estratificação da qualidade, denominado “QualisCapes” é dividida em A1, sendo a mais elevada, seguido da A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4 e C, essa última sendo atribuído nota zero.



Gráfico 1: Estrato Qualis-Periódicos CAPES por ano. Fonte: Elaborado pelos autores.

No Gráfico 2 é apresentado o fator de impacto, índice paramétrico utilizado internacionalmente de avaliação de periódicos científicos, plataforma de acesso gratuito, denominado “SCImago Journal Rank (SJR)” nos anos de 2015 a 2019. O SJR analisa o

número de citações dos últimos 3 anos após a publicação das edições, assim, não avalia a

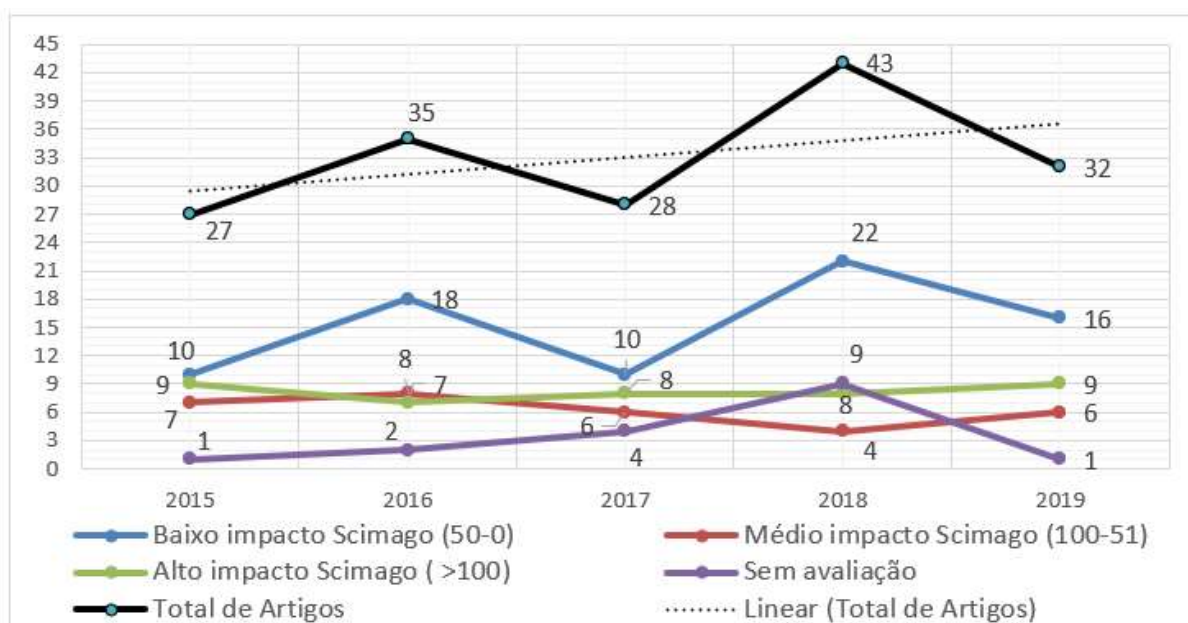


Gráfico 2: Classificação de impacto SCImago, quantitativo por ano. Fonte: Elaborado pelos autores.

qualidade dos artigos, mas a influência que teve no meio científico.

Observa-se no Gráfico 1 que os periódicos científicos que citam o termo “resíduo hospitalar” têm sido bastante valorizados por apresentar significativo número de revistas de alto impacto, 16 em 2018, 20 em 2019 e médio impacto, 8 em 2018 e 6 em 2019. No geral verifica-se que o número de publicações tem aumentado ao passar dos anos, mesmo tendo quedas nos anos de 2017 e 2019, o que se pode observar no Gráfico 2, onde a linha de tendência é positiva. Em 2015 e 2016 em todos os estratos, alto, médio e baixo impacto, houve um pequeno aumento no número de publicações, já em 2017 observou-se uma diminuição de publicações em todos os estratos.

Diferente do Gráfico 1 os de baixo impacto apresentam maior número, superando alto e médio impacto, podemos então afirmar que os periódicos tiveram baixa influência, poucas citações, no meio científico. Da mesma forma pode-se verificar uma queda significativa nos anos de 2017 e 2019 nas publicações de baixo impacto e teve um aumento ainda que pequeno nos anos de 2018 e 2019 no fator de médio e alto impacto.

Assim é possível concluir que as disparidades em relação aos dois gráficos, ainda que tenham uma conformação parecida, ocorrem nas classes de alto impacto (CAPES) e baixo impacto (SCImago) e se justificam por apresentar formas de avaliação diferente,

onde um avalia a qualidade das publicações e o outro avalia o número de citações, influência.

A Tabela 2 e Tabela 3 apresentam os mais relevantes quantitativos decrescentes de artigos por periódicos, classificação estratos Qualis-CAPES e fator de impacto por SCImago, respectivamente, confirmando as tendências mostradas nos gráficos 1 e 2. Onde na classificação CAPES observou-se maior número de publicações de alto impacto, enquanto na classificação SCImago o maior número de publicações se faz no fator baixo impacto observando apenas que decresce rapidamente o quantitativo de periódicos de alto impacto. nesse último. Destaca-se os periódicos “Plos One” e “International Journal of Environmental Research and Public Health” com 7 publicações de alto impacto, tanto na classificação CAPES como na SCImago.

Publicações ALTO impacto	Qnt.	Publicações MÉDIO impacto	Qnt.	Publicações BAIXO impacto	Qnt.
Plos One	7	Journal of Environmental and Public Health	5	Journal Of Clinical And Diagnostic Research	4
International Journal of Environmental Research and Public Health	5	Journal of Water and Health	2	American Journal of Ophthalmology Case Reports	1
Water Science and Technology	5	Management of Environmental Quality: An International Journal	2	Biomedical and Pharmacology Journal	1
Antimicrobial Agents and Chemotherapy	4	Microbial Genomics	2	Biosciences, Biotechnology Research Asia	1
BMC Public Health	4	Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research	1	Microbiology Resource Announcements	1
Sustainability	4	Epidemiology and Health	1	Revista De Salud Ambiental	1
Frontiers in Microbiology	3	International Journal of Environmental Health Engineering	1	South African Journal of Chemical Engineering	1

Tabela 2: Classificação estratos (CAPES/2019). Fonte: Elaborado pelos autores.

Publicações de ALTO impacto	Qnt.	Publicações de MÉDIO impacto	Qnt.	Publicações de BAIXO impacto	Qnt.
PLOS ONE	7	International Journal of Environmental Research and Public Health	5	Indian Journal of Medical Microbiology	5
Water Science and Technology	5	Sustainability	4	Journal of Environmental and Public Health	5
Antimicrobial Agents and Chemotherapy	4	Frontiers in Microbiology	3	JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH	4
BMC Public Health	4	Ecotoxicology	2	MATEC Web of Conferences	4
Water Research	2	Environmental Monitoring and Assessment	2	Eastern Mediterranean Health Journal	3
Applied Catalysis B: Environmental	1	Environmental Science and Pollution Research	2	Journal of Ecological Engineering	2
Clinical Infectious Diseases	1	Journal of Water and Health	2	Journal of Infection in Developing Countries	2
Clinical Microbiology and Infection	1	BioMed Research International	1	Management of Environmental Quality: An International Journal	2
Environment International	1	BMC Microbiology	1	Microbial Genomics	2

Tabela 3: Classificação de impacto por quantitativo de periódico (SCImago/2019). Fonte: Elaborado pelos autores.

De um total de 867 periódicos revisados, 165 (20%), contribuíram no propósito da pesquisa. Dos 165 periódicos, 114 (69%) são distintos, uma considerável diversidade de periódicos, o que demonstra a importância do tema, vide Tabelas 2 e 3. Na avaliação da CAPES 3/50 ou 6% dos periódicos registraram 5 ou mais publicações de alto impacto, bem como, 1/26 ou 4,35% de médio impacto e apenas 1 revista teve mais de uma publicação de baixo impacto de um total de 8. Não obstante para o fator de impacto (SCImago) a prevalência de publicação concentrou-se em baixo impacto, mas também apresentou significativa distribuição de periódicos. Apenas 2 periódicos tiveram mais de 4 publicações nas classes alto (2/24) e baixo impacto (2/18); e um periódico com mais de 4 publicações de médio impacto (1/56).

Dos 114 periódicos científicos levantados, 81 (71%) foram avaliados pela CAPES e 98 (86%) pelo SCImago, os demais não tiveram notas atribuídas. Destaca-se que o periódico científico “Ciência e Natureza” recebeu estrato A3, e não haver classificação de impacto da SCImago, o mesmo ocorreu com o periódico “Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade”, sendo que as notas variam de 14 a 140 para o estrato A3. Já com relação ao fator de impacto, periódicos receberam nota variando de 14 a 41, mas não foram avaliados pela CAPES, bem como 8 periódicos tiveram o fator de impacto inferior a 100 (médio e baixo impacto) e tiveram estrato A1 da CAPES.

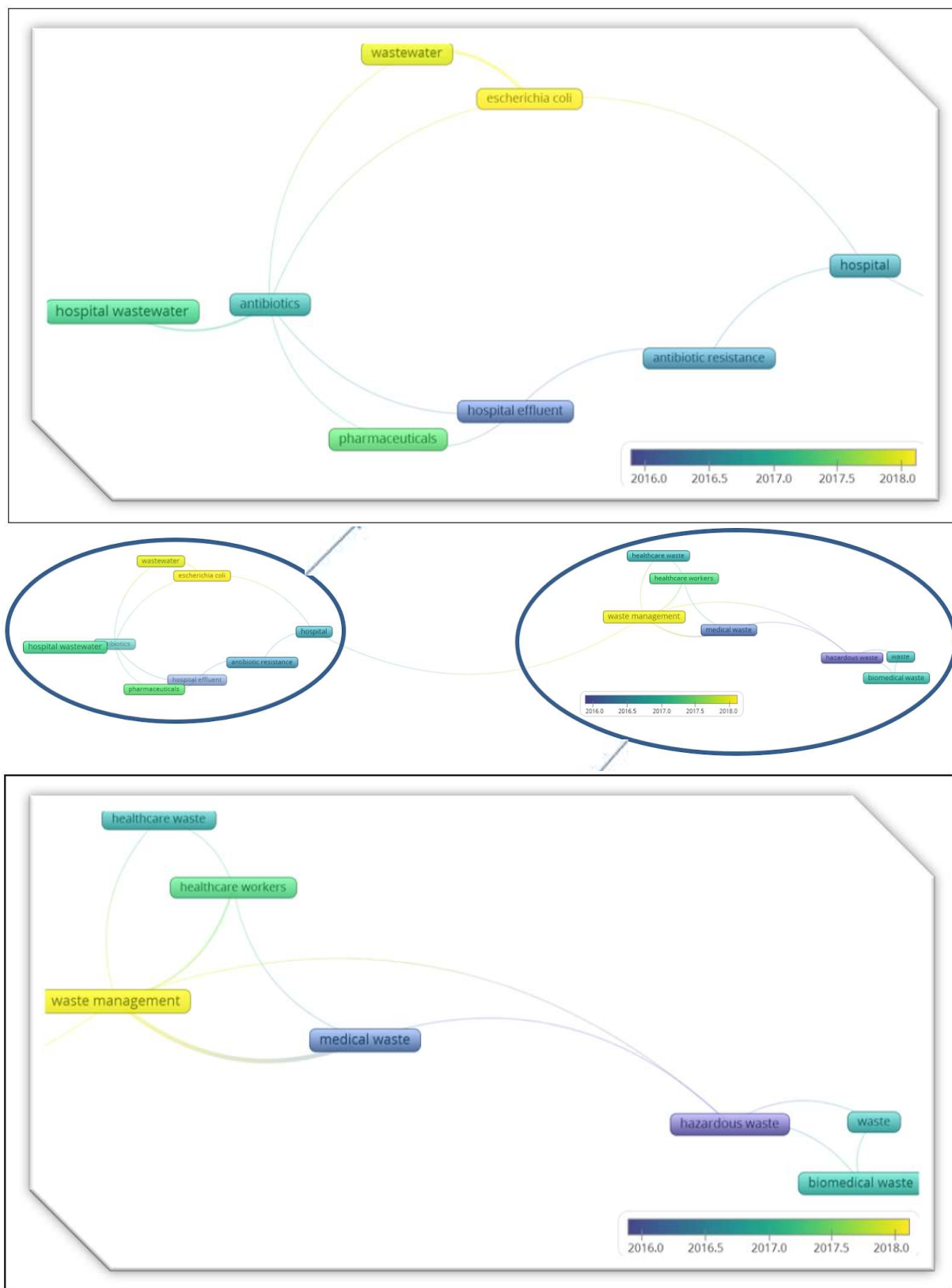


Figura 2: Mapa de palavras-chave. Fonte: Elaborado pelos autores

As palavras-chave que tiveram mais ocorrência foram *hospital wastewater* e *waste management* ambos com 11 ocorrências, *medical waste* com 10; seguido de *hospital* (8), *biomedical waste* (7), *wastewater* (7), *pharmaceuticals* (6), *hazardous waste*

(6), *hospital effluent* (5) e *antibiotics* (4), formando 3 agrupamentos de palavras, denominados clusters.

O primeiro agrupamento tem-se nas duas pontas as palavras *hospital wastewater* e *hospital*, entre elas observa-se as ligações com as palavras *antibiotics* e *antibiotics resistance* também nas duas pontas, fechando o círculo com as palavras *Escherichia coli* e *hospital effluent*.

O Segundo agrupamento faz a ligação da palavra *waste management* com a palavra *hospital* do primeiro cluster. Compõe ainda o segundo cluster, as palavras *healthcare waste*, *healthcare workers* e por fim *medical waste*, que se vincula ao terceiro cluster com a palavra *hazardous waste*. A palavra *hazardous waste* se relaciona com as palavras *biomedical waste* e *waste*.

Finaliza-se a discussão do presente artigo expondo os impactos ambientais identificados na literatura.

Pesquisadores expõem a necessidade, principalmente dos envolvidos no processos de gerenciamento, em conhecer os riscos que o resíduo hospitalar possui, para assim auxiliar nas ações de conscientização para prevenção de acidentes, doenças e contaminação do meio ambiente (GOMES et al., 2019; KIST et al., 2018; LIEN et al., 2018; PFÍTSCHER et al., 2007). Relata-se a deficiência ou a inexistência de treinamentos como fatores básicos preponderantes para o desencadeamento de possíveis impactos, assim, relatando-os em seus resultados e conclusões para que seja dada a devida significância e valorização na prevenção dos impactos (DEHGHANI et al., 2019; FERRANTE et al., 2018; GUNAWARDANA, 2018; HASAN; RAHMAN, 2018; NITIKA et al., 2017).

Aqui são apresentados os impactos e/ou os principais causadores dos impactos, bem como a relação dos periódicos levantados correspondentes. Dentre os impactos ambientais identificados destacam-se os grupos de riscos contidos nos resíduos hospitalares, microrganismos patógenos, produtos químicos, fármacos ou quimioterápicos, procedimentos de tratamento e disposição de resíduos e manejo e uso de equipamentos de tratamento. Impactos por resíduos radioativos não foram relatados.

Nas infecções ou resistência de microrganismos patógenos, bem como medicamentos que interferem na resistência aos antimicrobianos, destacam-se os antibióticos (DECRAENE et al., 2018; IWERIEBOR et al., 2015; LIEN et al., 2018; RANJBAR et al., 2018; LIEN et al., 2016; SAKKAS et al., 2019; FEKADU et al., 2015; AHN; CHOI, 2016; MATHYS et al., 2019; NG et al., 2017; PAULSHUS et al., 2019; NG et al., 2018; FRÓES et al., 2016; PAULSHUS et al., 2019; NG et al., 2018; KAMATHEWATTA et al., 2019; MIRANDA et al., 2015; WEN et al., 2016; CAHILL et al., 2019; MAGALHÃES et al., 2016; GALLER et al., 2018; RODRIGUEZ-MOZAZ et al., 2015; GOMI et al., 2017; LE et al., 2016; SHANKARAIHAH et al., 2017; MEIR-GRUBER et al., 2016; KHAN; SÖDERQUIST; JASS, 2019; MOHD; MALIK, 2018; STÅLSBY LUNDBORG et al., 2015; ALAM; IMRAN, 2018; MARATHE et al., 2019; KALAISELVI et al., 2016; HRENOVIC et al., 2019; PERINI et al., 2018).

Na Intoxicação ou contaminação por produtos químicos, fármacos ou quimioterápicos destacam-se a presença de: contrastes radiológicos (BOROWSKA, FELIS e ŻABCZYŃSKI; MENDOZA et al., 2015), anti-inflamatórios Diclofenaco (BOJANOWSKA-CZAJKA et al., 2015) e analgésico e antipirético Paracetamol (MACÍAS-GARCÍA et al., 2019; FERCHICHI e DHAOUADI, 2016).

No processos de tratamento ou disposição a intoxicação ou contaminação do meio ambiente foi apontado no processo de Autoclave e incineração pela contaminação dos efluentes e gases gerados (ADAMA et al., 2016; YOUNESI et al., 2016). Na estação de tratamento do efluente no processo principalmente de aeração gerando chamado “Bioaerosol” aerodispersóide perigoso (KRISTANTO; ROSANA, 2017), também relatou-se que o gás sulfeto de hidrogênio gerados em aterros sanitários foi capaz de contribuir para doenças respiratórias de uma comunidade próxima e até a mortalidade proveniente do câncer de pulmão gerado pelo gás tóxico. (MATALONI et al., 2016)

Acidentes ocupacionais no manejo ou uso dos equipamentos para tratamento de resíduos também foi apontado, onde 50% dos profissionais da saúde estão expostos a riscos, desses 39% a riscos biológicos, fatores que contribuem para os acidentes são as jornadas prolongadas, pressão do trabalho, trabalhos em diversos estabelecimentos, horas-extras e principalmente o não uso dos equipamentos de proteção (GUR et al.,

NDEJJO et al., 2015; FERRANTE et al., 2018), colocando em risco a contaminação por hepatites e HIV (LEE et al., 2017; AMSALU et al., 2016).

Os demais artigos relataram a gestão do conhecimento dos profissionais de saúde, treinamentos, novas formas de tratamento de efluentes e gestão de resíduos hospitalar. Treinamento e aperfeiçoamento por: (DEHGHANI et al., 2019; FERRANTE et al., 2018; GUNAWARDANA, 2018; HASAN; RAHMAN, 2018; NITIKA et al., 2017; PURI et al., 2019; DERESS et al., 2018; FLORELIA et al., 2015; RATHORE; JACKSON, 2017; MATOS et al., 2018; DEMETRIAN et al., 2019; ZEESHAN et al., 2018; KUMAR et al., 2015; JOSHI et al., 2015; ARA et al., 2019). Gestão de resíduos por: (AL-KHATIB; ELEYAN; GARFIELD, 2016; GIL MORALES et al., 2019; KWIKIRIZA et al., 2019; ALI; WANG; CHAUDHRY, 2016b; ALI et al., 2017; RAFIEE et al., 2016; SAJJADI et al., 2018; HASAN; RAHMAN, 2018; FITRIA; DAMANHURI; SALAMI, 2018; AWODELE; ADEWOYE; OPARAH, 2016; NAVAZESHKHAH et al., 2019; BHAGAWATI; NANDWANI; SINGHAL, 2015; DASH et al., 2018; SINGHAL; TULI; GAUTAM, 2017; GUPTA, 2017; RAO et al., 2018; MICHAEL et al., 2015; PANDEY et al., 2016; ALI; WANG; CHAUDHRY, 2016a; GHAFURI; NABIZADEH, 2017; MACHADO et al., 2017; DOIPHODE, 2016; KIST et al., 2018; TRAN et al., 2019; PICCOLI et al., 2015; ALI, 2019; RAME et al., 2018; WAFULA; MUSIIME; OPORIA, 2019; IRIANTI, 2016; RODRÍGUEZ-MIRANDA; GARCÍA-UBAQUE; ZAFRA-MEJÍA, 2016; TRAN et al., 2019; FARROKHI et al., 2016; ANOZIE, 2017; AHMAD et al., 2019; URIOSTE et al., 2018; MARCZAK, 2016; AUGUSTIN et al., 2016; FARZADKIA et al., 2018; JOVANOVIĆ et al., 2016; GAO et al., 2018; KRISHNAN; DEVAMANI; JAYALAKSHMI, 2015; OLIVEIRA; VIANA; CASTAÑON, 2018; PRAYITNO et al., 2018; THANH et al., 2016; SREEREMYA; RAJIV, 2017; NOGUEIRA et al., 2018; KUCHIBANDA; MAYO, 2015; YOUSEFI; AVAK ROSTAMI, 2017; NEVEU C; MATUS C, 2007; AL-MOMANI et al., 2019; PACHAURI et al., 2019; AFOLABI et al., 2018; DEWI et al., 2019; NJUANGANG; LIYANAGE; AKINTOYE, 2018; KIM et al., 2018; MUKHAIBER, 2017; JASEM; JUMAHA; GHAWI, 2018; GARIBALDI et al., 2017; NAMBURAR et al., 2018).

5. Conclusão

Conclui-se que os resíduos hospitalares possuem potencial para causar diversos impactos ambientais, diretos e indiretos. É fundamental que as pessoas envolvidas no meio, desde a geração até a disposição final, estejam cientes dos riscos e conheçam os

procedimentos a serem seguidos, sendo fundamental a implantação da gestão dos resíduos hospitalares.

Os resíduos perigosos se destacam pelo seu potencial infeccioso, principalmente os biomédicos que geralmente apresenta algum risco de contaminação. Os antibióticos que são fármacos utilizados para combater bactérias estão se tornando um problema evidenciado em efluentes líquidos ou águas residuárias, reflexo do uso intensivo de medicamento que contribui para aceleração da resistência natural dos patógenos. Destaca-se também, os impactos causados pelos produtos químicos utilizados na desinfecção e limpeza hospitalar, ou resultado no processo de tratamento do resíduo como os metais pesados relatado na incineração.

Referências

ADAMA, M. et al. Heavy Metal Contamination of Soils around a Hospital Waste Incinerator Bottom Ash Dumps Site. *Journal of Environmental and Public Health*, v. 2016, p. 1–6, 2016.

AFOLABI, A. S. et al. Solid waste management practice in Obafemi Awolowo University Teaching Hospital Complex (OAUTHC), Ile-Ife, Nigeria. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, v. 29, n. 3, p. 547–571, 9 abr. 2018.

AHMAD, R. et al. LCA of Hospital Solid Waste Treatment Alternatives in a Developing Country: The Case of District Swat, Pakistan. *Sustainability*, v. 11, n. 13, p. 3501, 26 jun. 2019.

AHN, Y.; CHOI, J. Bacterial Communities and Antibiotic Resistance Communities in a Full-Scale Hospital Wastewater Treatment Plant by High-Throughput Pyrosequencing. *Water*, v. 8, n. 12, p. 580, 7 dez. 2016.

AL-KHATIB, I. A.; ELEYAN, D.; GARFIELD, J. A system dynamics approach for hospital waste management in a city in a developing country: the case of Nablus, Palestine. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 188, n. 9, p. 503, 3 set. 2016.

AL-MOMANI, H. et al. Review of medical waste management in Jordanian health care organisations. *British Journal of Healthcare Management*, v. 25, n. 8, p. 1–8, 2 ago. 2019.

ALAM, M.; IMRAN, M. Screening and Potential of Multi-drug Resistance in Gram-Negative Bacteria from Hospital Wastewater. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, v. 42, n. 1, p. 251–259, 21 mar. 2018.

ALI, M. et al. Assessing knowledge, performance, and efficiency for hospital waste management—a comparison of government and private hospitals in Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 189, n. 4, p. 181, 24 abr. 2017.

ALI, M. Field lessons in surveying healthcare waste management activities in Pakistan. *Eastern Mediterranean Health Journal*, v. 25, n. 3, p. 213–217, 1 mar. 2019.

ALI, M.; WANG, W.; CHAUDHRY, N. Comparing Administration of Hospital Wastes Using Social Network Analysis. *MATEC Web of Conferences*, v. 68, p. 14009, 1 ago. 2016a.

ALI, M.; WANG, W.; CHAUDHRY, N. Application of life cycle assessment for hospital solid waste management: A case study. *Journal of the Air & Waste Management Association*, v. 66, n. 10, p. 1012–1018, 2 out. 2016b.

AMSALU, A. et al. The exposure rate to hepatitis B and C viruses among medical waste handlers in three government hospitals, Southern Ethiopia. *Epidemiology and Health*, v. 38, p. e2016001, 5 jan. 2016.

ANOZIE, O. B. Knowledge, Attitude and Practice of Healthcare Managers to Medical Waste Management and Occupational Safety Practices: Findings from Southeast Nigeria. *JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH*, v. 118, n. 6, p. 1276–1286, jun. 2017.

ARA, L. et al. Transferring knowledge into practice: a multi-modal, multi-centre intervention for enhancing nurses' infection control competency in Bangladesh. *Journal of Hospital Infection*, v. 102, n. 2, p. 234–240, jun. 2019.

AUGUSTIN, B. et al. Management of biomedical waste in two medical laboratories in Bangui, Central African Republic. *Pan African Medical Journal*, v. 23, p. 1–15, 2016.

AWODELE, O.; ADEWOYE, A. A.; OPARAH, A. C. Assessment of medical waste management in seven hospitals in Lagos, Nigeria. *BMC Public Health*, v. 16, n. 1, p. 269, 15 dez. 2016.

BHAGAWATI, G.; NANDWANI, S.; SINGHAL, S. Awareness and practices regarding bio-medical waste management among health care workers in a tertiary care hospital in Delhi. *Indian Journal of Medical Microbiology*, v. 33, n. 4, p. 580, 2015.

BOJANOWSKA-CZAJKA, A. et al. Analytical, toxicological and kinetic investigation of decomposition of the drug diclofenac in waters and wastes using gamma radiation. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 22, n. 24, p. 20255–20270, 27 dez. 2015.

BOROWSKA, E.; FELIS, E.; ŻABCZYŃSKI, S. Degradation of Iodinated Contrast Media in Aquatic Environment by Means of UV, UV/TiO₂ Process, and by Activated Sludge. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 226, n. 5, p. 151, 17 maio 2015.

BRASIL. Ministério da Educação. CAPES. Documento de Área Ciências Ambientais. Disponível em: <file:///C:/Users/adrir/OneDrive/Anexos/Mestrado/Produção Científica Inte _Rachel/Aulas 2019_2/Bibliométrico/49_CAMB_docarea_2016_publ2.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2019.

BRASIL. Ministerio da saúde. Agencia Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria colegiada No 222 comentada, de 28 de Março de 2018. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/3427425/%282%29RDC_222_2018_pdf/679fc9a2-21ca-450f-a6cd-6a6c1cb7bd0b>. Acesso em: 13 nov. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de atenção a Saúde. Cadastro Nacional de Estabelecimento de Saúde. Disponível em: <http://cnes2.datasus.gov.br/Mod_Ind_Unidade_Novo.asp?VEstado=00>. Acesso em: 13 nov. 2019.

CAHILL, N. et al. Hospital effluent: A reservoir for carbapenemase-producing Enterobacterales? *Science of The Total Environment*, v. 672, p. 618–624, jul. 2019.

CAMPOS, A. C. Todos os países da ONU adotam a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-09/paises-adotam-na-onu-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>>. Acesso em: 11 nov. 2019.

CHAERUL, M.; TANAKA, M.; SHEKDAR, A. V. A system dynamics approach for hospital waste management. *Waste Management*, v. 28, n. 2, p. 442–449, jan. 2008.

CHARTIER, Y. et al. Safe management of wastes from health care activities. *Bulletin of the World Health Organization*, n. 2, p. 1–329, 2014.

DASH, K. C. et al. Awareness of Biomedical Waste Management among Dentists associated with Institutions and Private Practitioners of North India: A Comparative Study. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, v. 19, n. 3, p. 273–277, mar. 2018.

DECRAENE, V. et al. A Large, Refractory Nosocomial Outbreak of *Klebsiella pneumoniae* Carbapenemase-Producing *Escherichia coli* Demonstrates Carbapenemase Gene Outbreaks Involving Sink Sites Require Novel Approaches to Infection Control. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, v. 62, n. 12, p. 1–12, 24 set. 2018.

DEHGHANI, M. H. et al. Medical waste generation and management in medical clinics in South of Iran. *MethodsX*, v. 6, p. 727–733, 2019.

DEMETRIAN, A. D. et al. On the Reduction of the Biological Danger of Environmental Contamination by Using a “Complete and Reusable Thoracic Drainage System”. *Sustainability*, v. 11, n. 10, p. 2873, 20 maio 2019.

DERESS, T. et al. Assessment of Knowledge, Attitude, and Practice about Biomedical Waste Management and Associated Factors among the Healthcare Professionals at Debre Markos Town Healthcare Facilities, Northwest Ethiopia. *Journal of Environmental and Public Health*, v. 2018, p. 1–10, 2 out. 2018.

DEWI, O. et al. The Characteristics and Factors Associated with Medical Waste Management Behaviour in Private Dental Health Services in Pekanbaru City, Indonesia. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, v. 7, n. 1, p. 157–161, 14 jan. 2019.

DOIPHODE, S. M. Developing a Novel, Sustainable and Beneficial System for the Systematic Management of Hospital Wastes. *JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH*, v. 10, n. 9, p. LC06-LC11, 2016.

ESTENSSORO SAAVEDRA, F.; RUBENS CENCI, D. História do Debate Ambiental na Política Mundial 1945-1992. [s.l: s.n.].

FARROKHI, M. et al. Intrinsic kinetics for fixed bed bioreactor in hospital wastewater treatment. *Water Science and Technology*, v. 74, n. 8, p. 1992–1998, 28 out. 2016.

FARZADKIA, M. et al. Management of Hospital Waste: A Case Study in Tehran, Iran. *Health Scope*, v. 7, n. 2, 30 maio 2018.

FEKADU, S. et al. Assessment of antibiotic- and disinfectant-resistant bacteria in hospital wastewater, south Ethiopia: a cross-sectional study. *The Journal of Infection in Developing Countries*, v. 9, n. 02, p. 149–156, 19 fev. 2015.

FERCHICHI, M.; DHAOUADI, H. Sorption of paracetamol onto biomaterials. *Water Science and Technology*, v. 74, n. 1, p. 287–294, 7 jul. 2016.

FERRANTE, M. et al. Stinging-cutting Accidents and Healthcare Waste Management’s Knowledge Among Healthcare Professionals in Public Hospitals in Catania (South Italy). *The Open Public Health Journal*, v. 11, n. 1, p. 330–338, 31 jul. 2018.

FITRIA, N.; DAMANHURI, E.; SALAMI, I. R. S. Assessment of Infectious Waste Management Practices at Hospital with Excellent Accreditation Level in Bandung, Cimahi and East Jakarta, Indonesia. *MATEC Web of Conferences*, v. 147, p. 08004, 22 jan. 2018.

FLORELIA, M. et al. Conocimientos y prácticas del manejo de los residuos hospitalarios por parte de los fisioterapeutas , Neiva. Revista Médica de Risaralda, v. 21, n. 2, p. 15–18, 2015.

FREIE VIEIRA, P.; WEBER, J. Gestão de recursos naturais renováveis e desenvolvimento . novos desafios para a pesquisa ambiental. [s.l.] Cortez, 1997.

FRÓES, A. M. et al. Distribution and Classification of Serine β -Lactamases in Brazilian Hospital Sewage and Other Environmental Metagenomes Deposited in Public Databases. *Frontiers in Microbiology*, v. 7, n. NOV, p. 1–15, 15 nov. 2016.

GALLER, H. et al. Multiresistant Bacteria Isolated from Activated Sludge in Austria. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 15, n. 3, p. 479, 9 mar. 2018.

GAO, Q. et al. Medical waste management in three areas of rural China. *PLOS ONE*, v. 13, n. 7, p. e0200889, 20 jul. 2018.

GARIBALDI, B. T. et al. Validation of Autoclave Protocols for Successful Decontamination of Category A Medical Waste Generated from Care of Patients with Serious Communicable Diseases. *Journal of Clinical Microbiology*, v. 55, n. 2, p. 545–551, fev. 2017.

GHAFURI, G.; NABIZADEH, R. Composition and quantity of cytotoxic waste from oncology wards: A survey of environmental characterization and source management of medical cytotoxic waste. *Bioscience Biotechnology Research Communications*, v. 10, n. 3, p. 438–444, 25 set. 2017.

GIL MORALES, J. A. et al. Análisis situacional de los hospitales verdes colombianos pertenecientes a la red global Análise situacional dos hospitais verdes colombianos pertencentes à rede global Situational Analysis of Colombian Green Hospitals Belonging to the Global Network. *REVISTA DE SALUD AMBIENTAL*, v. 19, n. 1, p. 12–22, 2019.

GOMES, S. C. S. et al. Acidentes de trabalho entre profissionais da limpeza hospitalar em uma capital do Nordeste, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 24, n. 11, p. 4123–4132, nov. 2019.

GOMI, R. et al. Occurrence of Clinically Important Lineages, Including the Sequence Type 131 C1-M27 Subclone, among Extended-Spectrum- β -Lactamase-Producing *Escherichia coli* in Wastewater. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, v. 61, n. 9, p. 1–9, set. 2017.

GUNAWARDANA, K. D. An analysis of medical waste management practices in the health care sector in Colombo. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, v. 29, n. 5, p. 813–825, 13 ago. 2018.

GUPTA, S. BIOMEDICAL WASTE MANAGEMENT IN INDIA- A REVIEW. *Journal of Advanced Medical and Dental Sciences Research*, v. 5, n. 4, p. 99–102, 2017.

GUR, R. et al. Safe transportation of biomedical waste in a health care institution. *Indian Journal of Medical Microbiology*, v. 33, n. 3, p. 383, 2015.

HASAN, M. M.; RAHMAN, M. H. Assessment of Healthcare Waste Management Paradigms and Its Suitable Treatment Alternative: A Case Study. *Journal of Environmental and Public Health*, v. 2018, p. 1–14, 29 jul. 2018.

HRENOVIC, J. et al. Untreated wastewater as a source of carbapenem-resistant bacteria to the riverine ecosystem. *Water SA*, v. 45, n. 1 January, p. 55–62, 31 jan. 2019.

IRIANTI, S. Hospital Waste Management in Queensland , Australia , 2010 : A Case Study for Sustainable Hospital Waste Management in Indonesia. *MEDIA PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN KESEHATAN*, v. 26, n. 2, p. 109–118, 2016.

IWERIEBOR, B. et al. Antibiotic Susceptibilities of Enterococcus Species Isolated from Hospital and Domestic Wastewater Effluents in Alice, Eastern Cape Province of South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 12, n. 4, p. 4231–4246, 16 abr. 2015.

JASEM, Y.; JUMAHA, G.; GHAWI, A. TREATMENT OF MEDICAL WASTEWATER BY MOVING BED BIOREACTOR SYSTEM. *Journal of Ecological Engineering*, v. 19, n. 3, p. 135–140, 1 maio 2018.

JOSHI, S. C. et al. Staff Perception on Biomedical or Health Care Waste Management: A Qualitative Study in a Rural Tertiary Care Hospital in India. *PLOS ONE*, v. 10, n. 5, p. e0128383, 29 maio 2015.

JOVANOVIĆ, V. et al. Management of pharmaceutical waste in hospitals in Serbia – challenges and the potential for improvement. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, v. 50, n. 4, p. 695–702, 1 nov. 2016.

KALAISELVI, K. et al. Survival of antibacterial resistance microbes in hospital-generated recycled wastewater. *Journal of Water and Health*, v. 14, n. 6, p. 942–949, dez. 2016.

KAMATHEWATTA, K. I. et al. Exploration of antibiotic resistance risks in a veterinary teaching hospital with Oxford Nanopore long read sequencing. *PLOS ONE*, v. 14, n. 5, p. e0217600, 30 maio 2019.

KHAN, F. A.; SÖDERQUIST, B.; JASS, J. Prevalence and Diversity of Antibiotic Resistance Genes in Swedish Aquatic Environments Impacted by Household and Hospital Wastewater. *Frontiers in Microbiology*, v. 10, n. April, p. 1–12, 4 abr. 2019.

KIM, J.-R. et al. The Promotion of Environmental Management in the South Korean Health Sector—Case Study. *Sustainability*, v. 10, n. 6, p. 2081, 19 jun. 2018.

KIST, L. T. et al. Diagnóstico do Gerenciamento de Resíduo de um Hospital Localizado no Vale do Rio Pardo-Rio Grande do Sul. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 7, n. 3, p. 130–148, 13 set. 2018.

KRISHNAN, K. U.; DEVAMANI, T. S. D.; JAYALAKSHMI, G. On the path of continual improvement: An evaluation of biomedical waste management training. *Indian Journal of Medical Microbiology*, v. 33, n. 5, p. S119–S121, 2015.

KRISTANTO, G. A.; ROSANA, F. N. Analysis of Microbial Air Quality in the Surrounding Hospital's Wastewater Treatment Plants in Jakarta, Indonesia. *MATEC Web of Conferences*, v. 138, p. 08004, 30 dez. 2017.

KUCHIBANDA, K.; MAYO, A. W. Public Health Risks from Mismanagement of Healthcare Wastes in Shinyanga Municipality Health Facilities, Tanzania. *The Scientific World Journal*, v. 2015, p. 1–11, 2015.

KUMAR, R. et al. Practices and challenges of infectious waste management: A qualitative descriptive study from tertiary care hospitals in Pakistan. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, v. 31, n. 4, p. 795–798, 6 jul. 2015.

KWIKIRIZA, S. et al. A Whole Systems Approach to Hospital Waste Management in Rural Uganda. *Frontiers in Public Health*, v. 7, n. JUN, p. 1–9, 6 jun. 2019.

LE, T.-H. et al. Occurrences and Characterization of Antibiotic Resistant Bacteria and Genetic Determinants of Hospital Wastewaters in a Tropical Country. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, v. 60, n. 12, p. AAC.01556-16, 10 out. 2016.

LEE, J. H. et al. Occupational blood exposures in health care workers: Incidence, characteristics, and transmission of bloodborne pathogens in South Korea. *BMC Public Health*, v. 17, n. 1, p. 1–9, 2017.

LEFF, E. Complexidade, interdisciplinaridade e saber ambiental. *Olhar de Professor*, v. 14, n. 2, p. 309–335, 21 dez. 2011.

LIEN, L. et al. Antibiotics in Wastewater of a Rural and an Urban Hospital before and after Wastewater Treatment, and the Relationship with Antibiotic Use—A One Year

Study from Vietnam. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 13, n. 6, p. 588, 14 jun. 2016.

LIEN, L. et al. A Potential Way to Decrease the Know-Do Gap in Hospital Infection Control in Vietnam: “Providing Specific Figures on Healthcare-Associated Infections to the Hospital Staff Can ‘Wake Them Up’ to Change Their Behaviour”. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 15, n. 7, p. 1549, 22 jul. 2018.

MACHADO, I. F. DA C. et al. Contribuição química para o plano de gerenciamento de águas residuais de serviços de saúde. *Química Nova*, v. 40, n. 5, p. 548–553, 15 abr. 2017.

MACÍAS-GARCÍA, A. et al. Adsorption of Paracetamol in Hospital Wastewater Through Activated Carbon Filters. *Sustainability*, v. 11, n. 9, p. 2672, 10 maio 2019.

MAGALHÃES, M. J. T. L. et al. Multidrug resistant *Pseudomonas aeruginosa* survey in a stream receiving effluents from ineffective wastewater hospital plants. *BMC Microbiology*, v. 16, n. 1, p. 193, 24 dez. 2016.

MARATHE, N. P. et al. Sewage effluent from an Indian hospital harbors novel carbapenemases and integron-borne antibiotic resistance genes. *Microbiome*, v. 7, n. 1, p. 97, 27 dez. 2019.

MARCZAK, H. LOGISTICS OF WASTE MANAGEMENT IN HEALTHCARE INSTITUTIONS. *Journal of Ecological Engineering*, v. 17, n. 3, p. 113–118, 2016.

MATALONI, F. et al. Morbidity and mortality of people who live close to municipal waste landfills: a multisite cohort study. *International Journal of Epidemiology*, v. 45, n. 3, p. 806–815, jun. 2016.

MATHYS, D. A. et al. Carbapenemase-producing Enterobacteriaceae and *Aeromonas* spp. present in wastewater treatment plant effluent and nearby surface waters in the US. *PLOS ONE*, v. 14, n. 6, p. e0218650, 26 jun. 2019.

MATOS, M. C. B. et al. Nursing professionals’ knowledge regarding the management of waste produced in primary health care. *Revista Brasileira de Enfermagem*, v. 71, n. suppl 6, p. 2728–2734, 2018.

MEIR-GRUBER, L. et al. Population Screening Using Sewage Reveals Pan-Resistant Bacteria in Hospital and Community Samples. *PLOS ONE*, v. 11, n. 10, p. e0164873, 25 out. 2016.

MENDOZA, A. et al. Pharmaceuticals and iodinated contrast media in a hospital wastewater: A case study to analyse their presence and characterise their environmental risk and hazard. *Environmental Research*, v. 140, p. 225–241, jul. 2015.

MICHAEL, J. et al. Biomedical waste management: Study on the awareness and practice among healthcare workers in a tertiary teaching hospital. *Indian Journal of Medical Microbiology*, v. 33, n. 1, p. 129, 2015.

MINAYO, M. C. DE S. Análise qualitativa: teoria, passos e fidedignidade. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 17, n. 3, p. 621–626, mar. 2012.

MIRANDA, C. C. et al. Genotypic characteristics of multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* from hospital wastewater treatment plant in Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Applied Microbiology*, v. 118, n. 6, p. 1276–1286, jun. 2015.

MOHD, S.; MALIK, A. Prevalence of Antibiotic and Heavy Metals Resistance in Coliforms Isolated from Hospital Wastewater. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, v. 12, n. 2, p. 1011–1017, 30 jun. 2018.

MUKHAIBER, H. The reality of liquid medical waste management in Damascus hospitals. *Eastern Mediterranean Health Journal*, v. 23, n. 2, p. 110–117, 1 fev. 2017.

NAMBURAR, S. et al. Waste generated during glaucoma surgery: A comparison of two global facilities. *American Journal of Ophthalmology Case Reports*, v. 12, n. April, p. 87–90, dez. 2018.

NAVAZESHKHAH, F. et al. Assessment of waste management status in educational hospitals affiliated with Kermanshah University of Medical Sciences. *Environmental Quality Management*, v. 28, n. 3, p. 71–75, 2019.

NDEJJO, R. et al. Occupational Health Hazards among Healthcare Workers in Kampala, Uganda. *Journal of Environmental and Public Health*, v. 2015, p. 1–9, 2015.

NEVEU C, A.; MATUS C, P. Residuos hospitalarios peligrosos en un centro de alta complejidad. *Revista Medica de Chile*, v. 135, n. 7, p. 885–895, 2007.

NG, C. et al. Characterization of Metagenomes in Urban Aquatic Compartments Reveals High Prevalence of Clinically Relevant Antibiotic Resistance Genes in Wastewaters. *Frontiers in Microbiology*, v. 8, n. NOV, p. 1–12, 16 nov. 2017.

NG, C. et al. Draft Genome Sequences of Four Multidrug-Resistant *Pseudomonas aeruginosa* Isolates from Hospital Wastewater in Singapore. *Microbiology Resource Announcements*, v. 7, n. 19, p. 1–2, 15 nov. 2018.

NITIKA et al. A Country Level Situational Analysis of Biomedical Waste Management: Evidence from DLHS-4. *JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH*, v. 11, n. 12, p. LC01–LC04, 2017.

NJUANGANG, S.; LIYANAGE, C.; AKINTOYE, A. The history of healthcare facilities management services: a UK perspective on infection control. *Facilities*, v. 36, n. 7/8, p. 369–385, 8 maio 2018.

NOGUEIRA, J. et al. Porous Carrageenan-Derived Carbons for Efficient Ciprofloxacin Removal from Water. *Nanomaterials*, v. 8, n. 12, p. 1004, 4 dez. 2018.

OLIVEIRA, E. L. DE; VIANA, V. J.; CASTAÑON, A. B. Performance Ambiental em Estabelecimentos de Saúde: Um Estudo de Caso do Hospital Naval Marcílio Dias, Rio de Janeiro - RJ. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 7, n. 3, p. 520–538, 13 set. 2018.

ONU. Organização das Nações Unidas - Brasil. A cúpula. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/cupula/>>. Acesso em: 11 nov. 2019a.

ONU. Organização das Nações Unidas - Brasil. Agenda 2030. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 11 nov. 2019b.

PACHAURI, A. et al. Safe and sustainable waste management of self care products. *BMJ*, v. 365, p. l1298, 1 abr. 2019.

PANDEY, A. et al. Bio-Medical Waste Managment in a Tertiary Care Hospital: An Overview. *JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH*, v. 10, n. 11, p. DC01–DC03, 2016.

PATEL, D. et al. An investigation of an outbreak of viral hepatitis B in Modasa town, Gujarat, India. *Journal of Global Infectious Diseases*, v. 4, n. 1, p. 55, 2012.

PAULSHUS, E. et al. Diversity and antibiotic resistance among *Escherichia coli* populations in hospital and community wastewater compared to wastewater at the receiving urban treatment plant. *Water Research*, v. 161, p. 232–241, set. 2019.

PERINI, J. A. L. et al. Simultaneous degradation of ciprofloxacin, amoxicillin, sulfathiazole and sulfamethazine, and disinfection of hospital effluent after biological treatment via photo-Fenton process under ultraviolet germicidal irradiation. *Applied Catalysis B: Environmental*, v. 224, n. August 2017, p. 761–771, maio 2018.

PFÍTSCHER, E. D. et al. A situação dos hospitais quanto ao gerenciamento dos aspectos e impactos ambientais. *Cadernos EBAPE.BR*, v. 5, n. 3, p. 01–18, 2007.

PICCOLI, G. B. et al. Eco-dialysis: the financial and ecological costs of dialysis waste products: is a “cradle-to-cradle” model feasible for planet-friendly haemodialysis waste management? *Nephrology Dialysis Transplantation*, v. 30, n. 6, p. 1018–1027, 1 jun. 2015.

PRAYITNO, P. et al. Performance of aerated fixed film biofilter (AF2B) reactor for treating hospital wastewater. *Nature Environment and Pollution Technology*, v. 17, n. 1, p. 209–213, 2018.

PURI, S. et al. Assessment of Awareness About Various Dental Waste Management Practices Among Dental Students and Practicing Clinicians. *Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada*, v. 19, n. 1, p. 1–12, 2019.

RAFIEE, A. et al. Assessment and selection of the best treatment alternative for infectious waste by modified Sustainability Assessment of Technologies methodology. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, p. 1–15, 2016.

RAME et al. FLASH Technology: Full-Scale Hospital Waste Water Treatments Adopted in Aceh. *E3S Web of Conferences*, v. 31, p. 04005, 21 fev. 2018.

RANJBAR, R. et al. Antibiotic resistance and prevalence of class 1 and 2 integrons in *Escherichia coli* isolated from hospital wastewater. *Universa Medicina*, v. 37, n. 3, p. 209, 30 nov. 2018.

RAO, D. et al. Biomedical Waste Management: A Study on Assessment of Knowledge, Attitude and Practices among Health Care Professionals in a Tertiary Care Teaching Hospital. *Biomedical and Pharmacology Journal*, v. 11, n. 3, p. 1737–1743, 28 set. 2018.

RATHORE, M. H.; JACKSON, M. A. Infection Prevention and Control in Pediatric Ambulatory Settings. *Pediatrics*, v. 140, n. 5, p. e20172857, 23 nov. 2017.

RODRÍGUEZ-MIRANDA, J. P.; GARCÍA-UBAQUE, C. A.; ZAFRA-MEJÍA, C. A. Hospital waste: Generation rates in Bogotá, 2012-2015. *Revista de la Facultad de Medicina*, v. 64, n. 4, p. 625–628, 1 out. 2016.

RODRIGUEZ-MOZAZ, S. et al. Occurrence of antibiotics and antibiotic resistance genes in hospital and urban wastewaters and their impact on the receiving river. *Water Research*, v. 69, p. 234–242, fev. 2015.

S, Sreeremva.; P, Rajiv. PHYSIOCHEMICAL ANALYSIS OF PRETREATED BIOMEDICAL WASTES. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, v. 10, n. 12, p. 137, 1 dez. 2017.

SAJJADI, S. A. et al. Assessment of Health Care Waste Management in Sajjadih Hospital in Torbat Jam and Addressing the Improving Procedures. *International Journal of Environmental Health Engineering*, v. 7, n. 1, p. 3–3, 2018.

SAKKAS, H. et al. Antimicrobial Resistance in Bacterial Pathogens and Detection of Carbapenemases in *Klebsiella pneumoniae* Isolates from Hospital Wastewater. *Antibiotics*, v. 8, n. 3, p. 85, 27 jun. 2019.

SANTA CATARINA. Conselho Regional de Farmácia do Estado de Santa Catarina. Estabelecimentos farmacêuticos ativos. Disponível em: <<http://wp.crfsc.gov.br/transp1/inscritos/>>. Acesso em: 13 nov. 2019.

SHANKARAIAH, G. et al. Photochemical oxidation of antibiotic gemifloxacin in aqueous solutions – A comparative study. *South African Journal of Chemical Engineering*, v. 24, p. 8–16, dez. 2017.

SINGHAL, L.; TULI, A. K.; GAUTAM, V. Biomedical waste management guidelines 2016: What's done and what needs to be done. *Indian journal of medical microbiology*, v. 35, n. 2, p. 194–198, 2017.

STÅLSBY LUNDBORG, C. et al. Protocol: a 'One health' two year follow-up, mixed methods study on antibiotic resistance, focusing children under 5 and their environment in rural India. *BMC Public Health*, v. 15, n. 1, p. 1321, 30 dez. 2015.

THANH, C. N. D. et al. Performance of Ozonation Process as Advanced Treatment for Antibiotics Removal in Membrane Permeate. *GeoScience Engineering*, v. 62, n. 2, p. 21–26, 1 jun. 2016.

TRAN, T. et al. Integration of Membrane Bioreactor and Nanofiltration for the Treatment Process of Real Hospital Wastewater in Ho Chi Minh City, Vietnam. *Processes*, v. 7, n. 3, p. 123, 27 fev. 2019.

URIOSTE, A. et al. Logística Reversa de Explantes Cirúrgicos em um Hospital Filantrópico: Implantação de um Novo Modelo Ecoeficiente de Gerenciamento de Resíduo Hospitalar. *Revista de Gestão em Sistemas de Saúde*, v. 7, n. 3, p. 257, 4 dez. 2018.

WAFULA, S. T.; MUSIIME, J.; OPORIA, F. Health care waste management among health workers and associated factors in primary health care facilities in Kampala City, Uganda: a cross-sectional study. *BMC Public Health*, v. 19, n. 1, p. 203, 18 dez. 2019.

WEN, Y. et al. High Prevalence of Plasmid-Mediated Quinolone Resistance and IncQ Plasmids Carrying qnrS2 Gene in Bacteria from Rivers near Hospitals and Aquaculture in China. *PLOS ONE*, v. 11, n. 7, p. e0159418, 18 jul. 2016.

YOUNESI, A. et al. Assessment of Incineration Plants and Autoclave by Rapid Impact Assessment Matrix Method. Biosciences, Biotechnology Research Asia, v. 13, n. 4, p. 2161–2165, 25 dez. 2016.

YOUSEFI, Z.; AVAK ROSTAMI, M. Quantitative and qualitative characteristics of hospital waste in the city of Behshahr-2016. Environmental Health Engineering and Management, v. 4, n. 1, p. 59–64, 17 jan. 2017.

ZEESHAN, M. F. et al. Practice and enforcement of national Hospital Waste Management 2005 rules in Pakistan. Eastern Mediterranean Health Journal, v. 24, n. 5, p. 443–450, 1 maio 2018.

CAPÍTULO 2

Degradação de cloridrato de tetraciclina assistido por plasma não térmico²

Resumo

Nos últimos anos têm sido discutido globalmente que os compostos antimicrobianos apresentam potencial impacto no meio ambiente, incluindo a contaminação dos meios hídricos e solos, quando despejados sem prévio tratamento. O cloridrato de tetraciclina (CT), composto antimicrobiano, com largo espectro, utilizado no combate a diversas bactérias na saúde humana e animal, o composto é eliminado pela urina e fezes e quando exposto ao meio ambiente via, por exemplo, efluentes hospitalares ou industriais e agropecuários, pode ser uma ameaça as matrizes hídricas contaminando também o solo. A exposição dos antibióticos as bactérias no meio natural contribui por exemplo para resistência antimicrobiana, dificultando o tratamento e combate às superbactérias. Proposta para remediar a exposição do antibiótico em meio hídrico foi pesquisada, em que buscou-se a degradação definitiva do antibiótico em meio aquoso utilizando tratamento avançado por plasma não térmico (PNT), por ser tecnologia limpa, não necessita adição de produtos químicos, é de fácil aplicação e por meio de outras pesquisas se observou ótimos índices de degradação para a tetraciclina. Soluções do antibiótico foram submetidas a tecnologia do PNT durante diferentes tempos de tratamento (10, 15 e 30 minutos), durante o experimento foram monitorados os parâmetros físico-químicos - pH, temperatura, condutividade, cor e turbidez, a degradação da CT foi analisada por cromatografia líquida de alta performance com detecção de arranjos de diodos. Paralelamente foi investigado a presença ativa do antibiótico por análise de sensibilidade microbiana por difusão de discos utilizando a *Escherichia coli* como organismo alvo. A partir dos resultados pode-se verificar que a concentração inicial de 100 mg/L reduziu-se em 91,28%, 92,19% e 93,56% nos tempos respectivos de tratamento. Para o resultado de sensibilidade com dose 3 µg foi possível observar a formação de halo de inibição para o antibiótico, na solução inicial e na amostra de 10 minutos de tratamento. Para os demais tempos não houve evidência de atividade do antibiótico nos discos. Conclui-se que pelos índices de degradação alcançados e em baixo período de tempo o resultado foi satisfatório para a degradação do antibiótico e sugere-se que o tempo de tratamento no plasma não térmico aconteça a partir de 15 minutos.

Palavras-chave: cloridrato de tetraciclina, plasma não térmico, antibiótico, oxidação avançada, efluente.

Abstract

² Pretende-se submeter esse artigo para a revista Journal of Environmental Management (ISSN 0301-4797)

In recent years, it has been globally discussed that antimicrobial compounds have a potential impact on the environment, including contamination of water and soil, when disposed of without prior treatment. Tetracycline hydrochloride (TC) is an antimicrobial compound with broad spectrum and used to combat various bacteria in human and animal health. When exposed to the environment it contributes, for example, to microbial resistance and can be a threat to water matrices and contaminating the soil. A proposal to remedy the impacts of the antibiotic was researched, searching for a definitive degradation of the antibiotic in aqueous medium using advanced treatment by non-thermal plasma (PNT). Antibiotic solutions were submitted to PNT technology during different treatment times (0, 10, 15 and 30 minutes) and the degradation of TC concentrations was analyzed by chromatography. During the experiment, the physical-chemical parameters - pH, temperature and conductivity, color and turbidity were monitored. , In parallel, the active presence of the antibiotic was investigated by microbial sensitivity analysis by diffusion of discs using *Escherichia coli*. The results showed that for the initial concentration of 100 mg/L, 91.28%, 92.19% and 93.56% were reduced in the respective treatment times. For the sensitivity result with a dose of 3g, it was possible to observe the formation of inhibition halo for the antibiotic, in the initial solution and in the sample of 10 minutes of treatment. For the other times there was no evidence of antibiotic activity on the discs. It is concluded that the result is satisfactory for antibiotic degradation and it is suggested that the treatment time in non-thermal plasma occurs from 15 minutes. We believe that future application on a larger scale is feasible, meanwhile, preliminary studies with real effluents are suggested.

Keywords: tetracycline hydrochloride, non-thermal plasma, antibiotic, advanced oxidation, effluent.

1. Introdução

Configurado mundialmente entre os antibióticos mais utilizados no desenvolvimento da saúde humana, agricultura, aquicultura e pecuária, o cloridrato de tetraciclina, da família da tetraciclina, é um antibiótico natural ou semi-sintético de largo espectro, usado contra a ação de vários microrganismos (BAILEY ET AL., 2016; EZHILARASU ET AL., 2019; HAMILTON AND GUARASCIO, 2019; K. S. KIM ET AL., 2013; ROBERTS AND SCHWARZ, 2016; YANG ET AL., 2019).

Por ser um bioativo hidrossolúvel de difícil biodegradação, xenobiótico, e apresentar pouca absorção pelo corpo humano e animal ocorre a eliminação da tetraciclina em grande proporção (70%) via renal e biliar sem ser metabolizada (BOXALL ET AL., 2006; GU AND KARTHIKEYAN, 2005; SANDERSON AND THOMSEN, 2009). Nesse sentido torna-se uma ameaça as matrizes hídricas, consequentemente ao meio ambiente, pois as tradicionais estações de tratamento de esgoto e efluentes não apresentam tecnologias altamente eficientes contra os metabólitos, que acabam retornando aos corpos hídricos contaminando também o solo. Destacam-se evidências de concentrações em águas residuais de 2,2 mg/L e em águas subterrânea e superficial de 0,1 e 4,5 mg/L (HEBERER, 2002; KÜMMERER, 2003; LIN, 2017; WANG ET AL., 2018). Também em alimentos como leite, ovos, peixes, vegetais e

carnes e seus derivados (KOROLKOVAS AND BURCKEHALTER, 1982; OSKOTSKAYA ET AL., 2014).

A ocorrência de antibióticos encontrados com maior concentração estão nos efluentes hospitalares, que concorrem para os impactos no ambiente aquático que têm sido definidos como um dos problemas mais emergentes no aspecto socioambiental (DAUGHTON AND TERNES, 1999; HALLING-SØRENSEN ET AL., 1998; YANG ET AL., 2019). A exposição socioambiental relatado por alguns artigos descobriram que os resíduos de tetraciclina não só podem interferir na atividade biológica de organismos ambientais, mas também trazem transtornos para as funções complexas do corpo humano (HAMILTON AND GUARASCIO, 2019; LUO ET AL., 2014; WATKINSON ET AL., 2007).

Tratar a água que contém antibióticos principalmente na sua fonte, a fim de diminuir ou eliminar a concentração e a disseminação para o meio ambiente é eminente. Processos tecnológicos avançadas de oxidação como a eletrocatalise, fotocatalise, ozonização, oxidação por Fenton e eletro-oxidação foram empregadas para remover poluentes orgânicos como a tetraciclina (LIN, 2017; PARK AND CHOUNG, 2007; TANG ET AL., 2018A). Contudo, novas abordagens podem ser empregadas em tratamentos viáveis para degradar a tetraciclina de modo conveniente como é o caso do plasma não térmico (PNT).

O plasma é considerado o quarto estado da matéria: sólido, líquido, gasoso e plasma (MERCHE ET AL., 2012). Também um gás parcialmente ou totalmente ionizado constituído de elétrons, íons, moléculas excitadas e neutras, espécies de radicais livres e fótons (FRIDMAN, 2008; JIANG ET AL., 2014). Que é gerado com o fornecimento de energia elétrica, descarga elétrica (CHEN ET AL., 2008; FRIDMAN, 2008; JIANG ET AL., 2014). Os regimes de descargas direta ou indireta mais comuns para a geração de PNT em laboratório são: descarga corona, descarga de barreira dielétrica (DBD), descarga faísca (do inglês *spark discharge*), *streamer*, descarga luminosa (do inglês *glow discharge*) (JIANG ET AL., 2014; ZHANG ET AL., 2017).

A aplicação é consolidada em diferentes setores, como: tratamento de superfícies segundo Felix et al., (2017), esterilização de materiais para Anghel et al., (2015), no tratamento de efluentes por T. Wang et al., (2016), e plasma medicinal para Heinlin et al., (2010), na reforma de gases por Chen et al., (2008), assim como na medicina veterinária com G. Wang et al., (2016) e dentre outros.

O uso de tecnologias avançadas de oxidação constitui um diferencial no tratamento de efluentes, devido à formação complexa *in-situ* de diversas espécies reativas de oxigênio e nitrogênio (RONS). Dentre os RONS formados estão radical hidroxila ($\text{OH}\cdot$), um excelente oxidante ($E^\circ = 2,85 \text{ V}$), e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), ozônio (O_3), capazes de degradar compostos poluentes diversos (Ajo et al., 2018; K.-S. Kim et al., 2013; Li et al., 2020), também a formação de nitrato e nitrito através da reação com nitrogênio, presente na água e no ar, quando ionizado pelo gás plasma (CUBAS ET AL., 2019).

Nesse sentido o artigo tem como por objetivo investigar a degradação do cloridrato de tetraciclina por meio da tecnologia do plasma não-térmico como alternativa limpa.

2. Materiais e Métodos

2.1. Preparação da amostra

Utilizou-se o fármaco cloridrato de tetraciclina, cápsula de 500mg, do laboratório Prati-Donaduzzi, diluído em água destilada na concentração de 100 mg/L.

2.2 Tratamento por plasma não térmico

O reator de PNT (Figura 1) obedeceu às descrições de Cubas et al. (2019), do tipo ponta-plano com parede de vidro borossilicato e tampa e base em teflon, sendo a entrada de gás (ar) realizada por orifício lateral na tampa, operado com ar (gás de plasma) por bomba modelo BIG AIR 420, transformador externo marca NEONENA de 17kV e agitador magnético. Amostras de 60 ml foram tratadas em triplicatas nos tempos de 10, 15 e 30 minutos, em agitação, reservadas em becker previamente esterilizados para as análises paramétricas e em tubos de ensaio para análise cromatográfica e de sensibilidade microbiana.

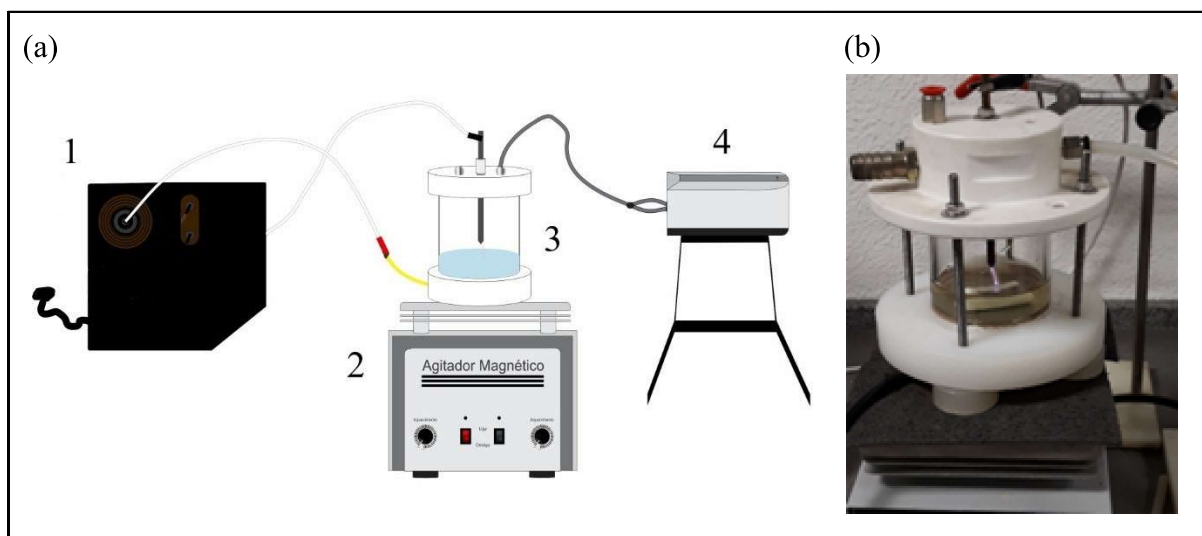


Figura 1. Esquema do plasma não térmico e reator. (a: fonte de energia (1); agitador magnético (2); reator(3); bomba de oxigênio (4); b:reator em funcionamento).

Na Figura 1 é possível ver o tratamento por PNT em que o líquido é a amostra do cloridrato de tetraciclina dissolvida em água destilada, submetida a descarga elétrica gerada por diferencial de potencial formada pela fonte (1), e combinada com a bomba (4) para indução de ar contribuindo no fornecimento de oxigênio e nitrogênio, agitada por um bastão magnético servindo para melhorar o contato descarga-gás-água nas reações e trocas térmicas.

2.3. Determinação de parâmetros físico-químicas

Para determinar a condutividade, pH, temperatura, turbidez e cor foram utilizados sucessivamente: medidor multiparamétrico portátil modelo HANNA HI 9829, pHmetro de bancada modelo Sensoglass SP 1800, termômetro, turbidímetro BVP modelo EQ67 e comparador colorimétrico visual HACH Color Test Kit, Model CO-1 (0-100 units), respectivamente.

2.4. Avaliação de sensibilidade antimicrobiana

O teste de sensibilidade antimicrobiana foi realizado por difusão de disco ou antibiograma, teste qualitativo de suscetibilidade fenotípica de boa confiabilidade e baixo-custo desenvolvido por Kirby-Bauer, o teste é realizado através da mensuração dos milímetros dos halos inibitórios, sendo possível revelar se houve ou não a degradação do antibiótico e o eventual potencial de resistência ou sensibilidade do patógeno (ALONSO ET AL., 2017; BADGER ET AL., 2019).

Adotada a metodologia descrita por Jorgensen e Ferraro (2009), a cepa *Escherichia coli*, diluída 10^{-5} foi plaqueada em meio Plate Count Agar (PCA); após 20h de incubação a 37°C foram selecionadas cuidadosamente cinco colônias e diluídas em 5 mL de solução salina 85%, ajustando a turbidez na escala 0,5 de Mc Farland, aproximadamente $1-2 \times 10^8$ UFC/mL. Com swab estéril a bactéria foi inoculada em placas Ágar Mueller Hinton, após 15 minutos, aplicou-se discos de papel filtro, de 6mm de diâmetro, impregnados com volumes de 30µL e 15µL da solução controle e das triplicatas nas concentrações padrão (controle) 100 mg/L e 50 mg/L em placas distintas. As placas foram incubadas a 37°C por 22h. Com paquímetro digital mediu-se os halos de inibição quando apresentados.

2.5 Análise Cromatográfica

As determinações das ocorrências e análises foram auxiliados por cromatógrafo de alta performance com detecção de arranjos de diodos de procedência Thermo Scientific, modelo Ultimate 3000, constituído de um sistema de bombas quaternária, autoamostrador termostatizado, forno para coluna e detector de arranjo de diodos (DAD), a partir de metodologia adaptada de Liu et al. (2018).

O tratamento dos dados cromatográficos foi realizado em software Chromeleon v6.3.2. A separação cromatográfica foi realizada em Coluna C18 (4,6 x 250 mm x 5 µm) de Procedência Thermo Scientific, a uma temperatura de 35 ° C (± 1 °C). A fase móvel foi constituída de (A) Tampão Acetato (pH 8,8), confeccionado a partir da dissolução de 17,5 g de Acetato de Amônio, 3,5 g de EDTA dissódico e 9 mL de Trietilamina para cada litro de tampão; e (B) Acetonitrila (Grau HPLC – J. T. Baker) – (85/15% - v/v). O Volume de injeção foi de 20 µL, a um fluxo de 1,5 ml/min em um modo isocrático. O detector foi setado nos comprimentos de onda 280 e 365 nm. Foi confeccionada uma curva de calibração de 5 pontos, analisados em triplicata.

Visando a confiabilidade dos dados analisados por cromatografia para atender às exigências das aplicações analíticas foram previamente analisados alguns parâmetros como seletividade; linearidade com a indicação dos coeficientes da curva analítica e coeficiente de correlação; limite de detecção e limite de quantificação.

Para as análises de estatística utilizou-se Excel e R-Studio para suporte.

3. Resultados e Discussão

Nessa seção são apresentados os resultados das avaliações físico-químico, sensibilidade antimicrobiana e de cromatografia, discutidos e relacionados a outras pesquisas para fins elucidativos e conclusivos.

3.1. Da avaliação físico-químico.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados das avaliações de pH, condutividade, cor das amostras da solução padrão (concentração inicial de 100 mg de cloridrato de tetraciclina dissolvidos em 1 litro de água destilada), turbidez, temperatura e concentração indicados nos tempos: 0 (onde não há o tratamento pelo plasma) e 10, 15 e 30 minutos de plasma.

Tabela 1. Dados físico-químicos.

Tempo (minutos)	0	10	15	30
pH	4,35	2,73±0,09	2,78 ± 0,29	2,44 ± 0,12
Condutividade (S/cm)	141	551,33 ± 31.34	801,33 ± 40.12	1363 ± 10,81
Cor	5	95 ± 1	89,67 ± 3,11	41 ± 2
Turbidez (NTU)	0,92	1,67±0,39	1,18±0,37	1,02 ± 0,27
Temperatura (°C)	22	50,66 ± 0,44	52 ± 0,66	51,66 ± 1,11
Concentração (mg/L)	100	8,72±0,32	7,81±0,26	6,44±0,33

Nota-se que o pH diminui com o aumento do tempo de tratamento por plasma demonstrando que mais ácida a solução se torna ao passo que a degradação do antibiótico ocorre. O pH inicial tem interferência significativa no tratamento de determinados compostos, porém para a degradação da tetraciclina estudos apontaram que a variação do pH inicial representa pouca interferência no percentual degradativo em meio ácido ou alcalino (AJO ET AL., 2018; HE ET AL., 2014; LI ET AL., 2020; TANG ET AL., 2018A, 2018B). Dentre as espécies de oxigênios reativos (ROS) formados pelo plasma, H₂O₂, ·OH e O₃ são as que mais participam da decomposição da tetraciclina e as mais consumidas (LI ET AL., 2020). O

decréscimo de pH inicial e aumento da condutividade podem ser explicados em conjunto pela formação de ácidos orgânicos e íon hidrônio H_3O^+ causados pela descarga sobre a água. Ainda enfatiza-se que a diminuição do pH e aumento da condutividade corroboram para a degradação (CREMA ET AL., 2020; LUKES ET AL., 2012; MURUGESAN ET AL., 2020; XU ET AL., 2020). O decréscimo do pH também são explicadas pelas reações de oxidação provocados pelo nitrogênio reativo induzido pelo gás plasma (CUBAS ET AL., 2019).

As Figuras 2 e 3 ilustram os resultados das avaliações físico-químico obtidos em razão do tempo de tratamento e o resultado das concentrações obtido pela cromatografia.

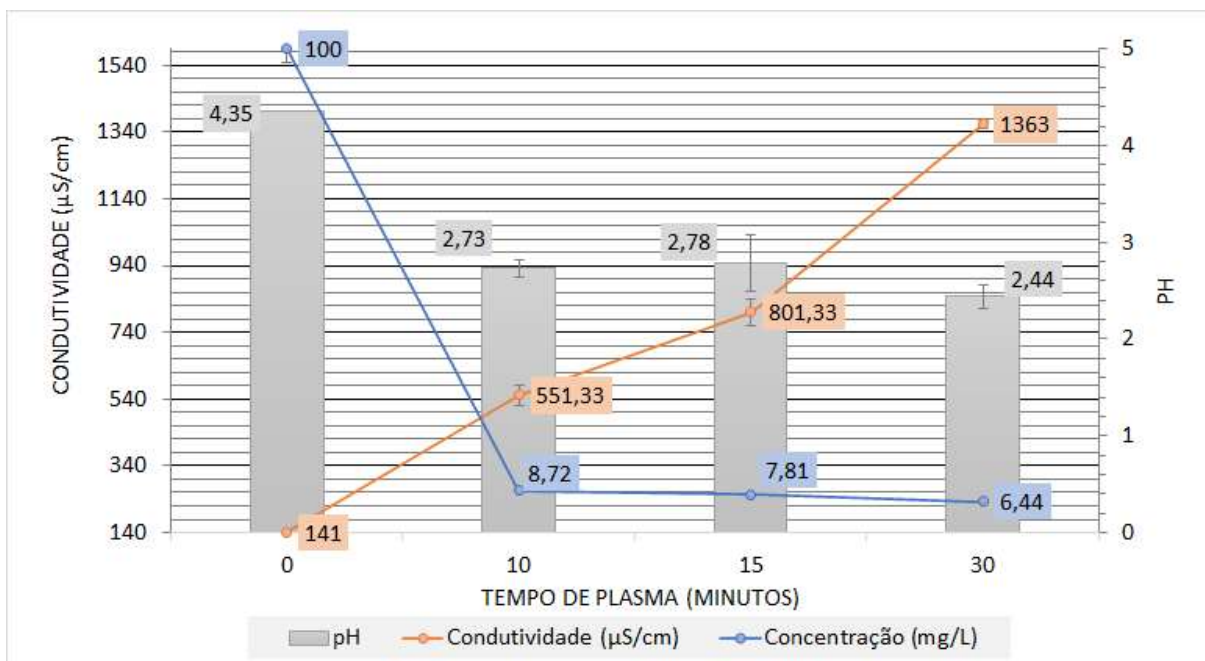


Figura 2. Dados físico-Químicos, pH, Condutividade e concentração.

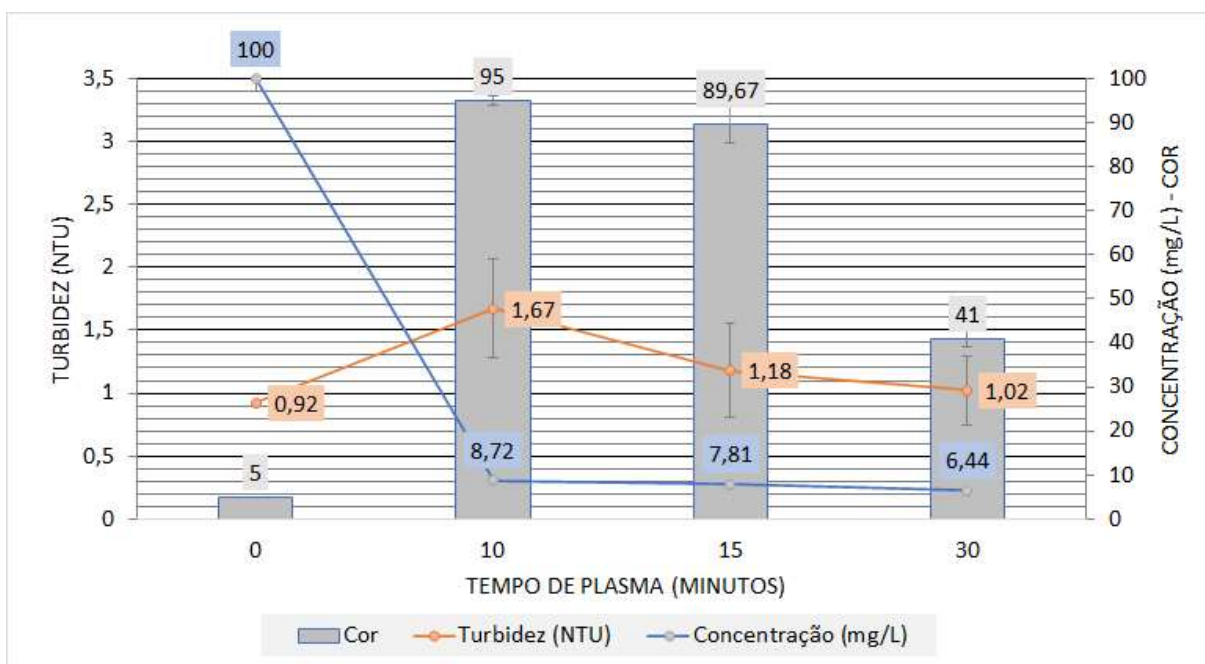


Figura 3. Dados físico-Químicos, Cor, Turbidez, concentração

A coloração e turbidez no tempo zero apresentaram os menores valores do processo (0.92 e 5 NTU). Com tempo 10 minutos atingiu-se o índice máximo na coloração (95) que posteriormente retorna a 41 em 30 minutos. A turbidez teve maior aumento no tempo 10 minutos, 1,67 NTU, posteriormente diminuiu quase atingindo o valor inicial de 1.02 NTU não havendo uma considerável alteração. A tetraciclina quando exposta a luz tende a escurecer (Ferreira, 2015). Esse efeito ocorreu possivelmente pela formação de UV proveniente do plasma e da iluminação natural e artificial exposta durante o experimento. A partir dos 15 minutos de PNT nota-se que a coloração adquire pequena clarificação, podendo ser respondido pela mineralização do composto e pelo potencial oxidativo causado pelos oxidantes formados.

Pode-se observar na Figura 4 a solução padrão (controle) com o cloridrato de tetraciclina dissolvido em 100 mg/L em uma amostra de 500ml. Percebe-se, portanto, as diferenças de cores e turbidez das amostras inicial e nos intervalos de tempo 15 minutos e 30 minutos de PNT.

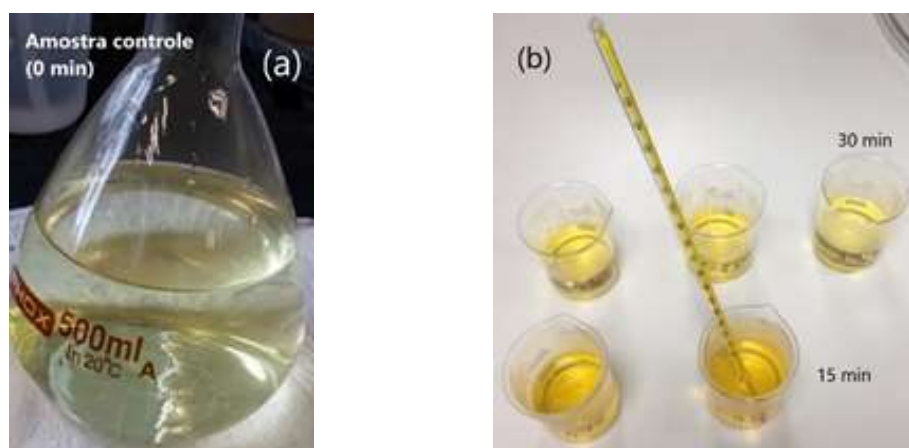


Figura 4. (a) Amostra “controle”, diluição do antibiótico em 100 mg/L não processada no plasma. (b) amostras processadas no plasma em triplicatas (parte superior em tempos de 30 minutos e inferior tempos de 15 minutos).

A amostra controle estava na temperatura ambiente 22 °C, ao tratar as amostras com PNT nos tempos 10, 15 e 30 minutos as temperaturas se elevaram para 50,67°C±0,58°C; 52°C± 1°C ; 51,67 °C± 1,53 °C, respectivamente.

3.2. Sensibilidade antimicrobiana por difusão de disco

A tetraciclina apresenta ação antimicrobiana para diversas bactérias, dentre elas, a *Escherichia coli*, adentrando a célula bacteriana por difusão passiva ou transporte ativo inibindo a síntese proteica (BEZERRA ET AL., 2007; PEREIRA-MAIA ET AL., 2010).

Na Tabela 2 as medidas obtidas dos halos inibitórios dos discos nas respectivas placas. Verificou-se a presença de halos inibitórios em todos os discos impregnados com solução controle (sem tratamento por plasma). Ainda que minimamente anuviado nos discos com maior concentração da solução inicial (100 mg/L) com tratamento de 10 minutos em dose de 3g foi possível observar a formação de halo (7,5mm).

Tabela 2. Halos inibitórios (diâmetros em mm) e respectivos tempos de tratamento (min).

Placas	Controle (0 min)	10 min	15 min	30 min
1	Φ 12,10 mm (Dose 3 μ g)*	Φ 7,5mm $\pm$ 0,35mm	0mm	0mm
2	Φ 8,03 mm (Dose 1,5 μ g)**	0mm	0mm	0mm
3	Φ 8,14 mm (Dose 1,5 μ g)***	0mm	0mm	0mm
4	Φ 7,15 mm (Dose 0,75 μ g)****	0mm	0mm	0mm

Halos inibitórios (diâmetros em mm) e respectivos tempos de tratamento (min). Amostra Controle: *(C= 100 mg/L - 30 μ L); ** (C= 100 mg/L - 15 μ L);***(C= 50 mg/L - 30 μ L);****(C= 50 mg/L - 15 μ L).

Na figura 3 tem-se a placa 1, com destaques nos discos controle e triplicatas de 10 minutos com presença halos inibitórios, principalmente na amostra controle (t=0), o que demonstra a presença ativa do antibiótico e sensibilidade microbiana. Já os discos que continham a solução tratada por plasma nos tempos de 15 e 30 min não apresentaram halos inibitórios, indicando a não presença do antibiótico ativo ou em concentração insuficiente para inibição bacteriana, em estado de resistência.

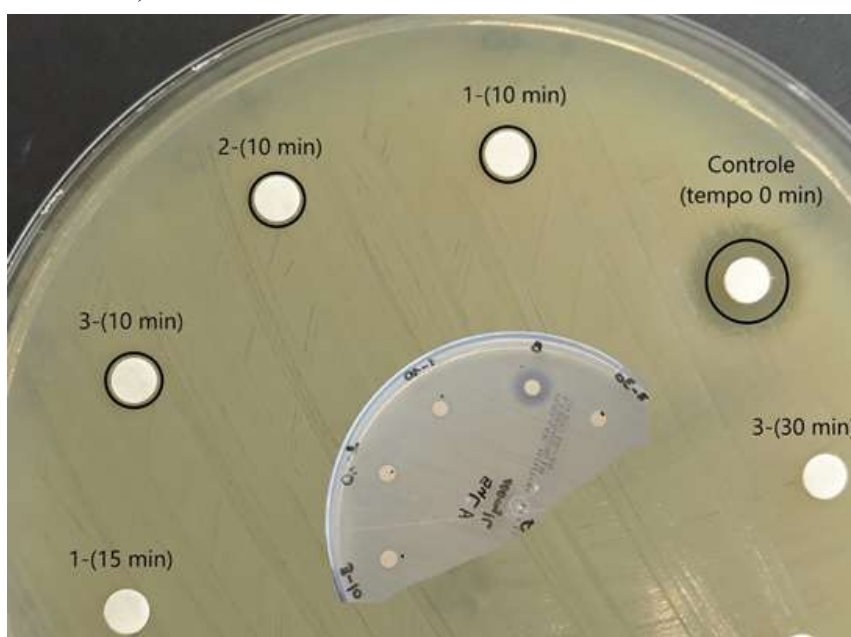


Figura 5. Placa de petri 1 com halos inibitórios presentes nos discos controle e triplicatas de 10 min.

A ação da tetraciclina se dá pela inibição da síntese de proteínas dessa bactéria. Foi realizado pesquisa para conhecer a resistência bacteriana da cepa *E. coli* diante alguns antibióticos, inclusive a tetraciclina. Com 15 µg no disco, gerou-se um halo inibitório de 18 mm. Nesse estudo a maioria das cepas de *E. coli* desenvolveram resistência a grande parte dos antibióticos disponíveis, incluindo drogas com diferentes mecanismos de ação. Causando preocupação à comunidade científica, tornando-se uma situação emergente à saúde pública, uma vez que, são bactérias com alta patogenicidade (VALÉRIO ET AL., 2017).

Múltiplos genes que codificam para resistência a antibióticos têm sido frequentemente detectados em meios ambientais líquidos (como águas residuais) e sólido (como lodos). Alguns estudos ainda apontam a alta persistência de genes de resistência à tetraciclina em ambiente aquático. Com genes de resistência a antibióticos comumente mais altos no efluente que recebe águas residuais da indústria farmacêutica do que municipais (PHOON ET AL., 2020; GAO ET AL., 2012).

Considerando a inibição de 12,10 mm obtida para dose de 3 µg na amostra controle, sem tratamento por plasma, e comparando a Valério et al. (2017), tende-se a uma excelente inibição para o antibiótico, indicando que a cepa não apresenta grande resistência.

Em um estudo realizado em Michigan por Gao; Munir; Xagorarakis, (2012) encontraram concentrações totais médias de tetraciclina de 1,13 µg/L em águas residuais, após o tratamento desse efluente, houve uma diminuição de 42,2% dessa concentração, permanecendo elevada taxa de antibiótico no efluente. Majoritariamente, as estações de tratamentos residuais convencionais não apresentam tecnologias para retirada de produtos farmacêuticos das águas residuais, porém há muitos estudos para mudar o atual cenário (PHOON ET AL., 2020); e a tecnologia do plasma não térmico como degradador desse antibiótico torna-se extremamente viável e seus resultados apontam esperanças quanto a busca de uma tecnologia limpa e verde para tratamento desse efluente, sem gerar resíduos secundários provenientes desse tratamento.

3.3. Cromatografia

Para garantir que os procedimentos e resultados encontrados possam ser confiáveis, precisos e aceitáveis seguiram-se os protocolos usualmente utilizados para verificação do sistema. Na tabela 3 são apresentados os resultados de conformidade dos dados analíticos do cromatógrafo.

Tabela 3. Dados analíticos de verificação de conformidade de calibração

AMOSTRA: Cloridrato de Tetraciclina (C₂₂H₂₄N₂O₈)
SELETIVIDADE
(NC95%) P-valor: 0,03836 < 0.05
Limite inferior: 12,57 minutos
Limite Superior: 12,67 minutos

LINEARIDADE

Curva Analítica linear: $y=0,94x-6,14$

x =concentração(mg/L). y =área (mAU)

Coefficiente de Correlação: 0,9993

LIMITE DE DETECÇÃO E QUANTIFICAÇÃO

LD:0,3758 mg/L

LQ: 0,7754 mg/L

A seletividade compreende verificar e garantir a pureza dos picos de detecção do analito nas amostras, dentro do intervalo de pico de detecção da calibração, no caso concreto com possibilidade de 5% de erro temos tempos de retenção (t_r) entre 12,57 e 12,67 minutos. Assim, havendo evidências de picos nesse intervalo de tempo garantir que se trata do composto cloridrato de tetraciclina. Através da área de calibração pode-se determinar a curva analítica, e consequentemente estimar a concentração e determinar a degradação das amostras com segurança. Considerando o teste-t realizado com os valores da calibração pode-se afirmar que o teste é seletivo para P-valor inferior a 0,05 (ANVISA, 2017; INMETRO, 2016; RIBANI ET AL., 2004).

A linearidade retrata a proporcionalidade linear para variação da concentração do analito padrão, de calibração. Dessa forma pode-se estimar a concentração em relação a área através da curva para o analito amostral. Nesse caso tem-se correlação fortíssima (>0.99), garantindo a precisão na projeção da concentração amostral pela equação (ANVISA, 2017; INMETRO, 2016; RIBANI ET AL., 2004).

Os limites de detecção e quantificação representam a menor concentração do analito que pode ser detectada e quantificada pelo equipamento. Nesse caso, o aparelho consegue detectar até 0,3758 mg/L, porém, só consegue quantificar acima de 0,7754 mg/L, valor bem abaixo do que se estimou ao final dos 30 minutos, não havendo risco de estar no limite e provocar incertezas (ANVISA, 2017; INMETRO, 2016; RIBANI ET AL., 2004).

Na Figura 6 o gráfico analítico com indicação da equação da reta e correlação.

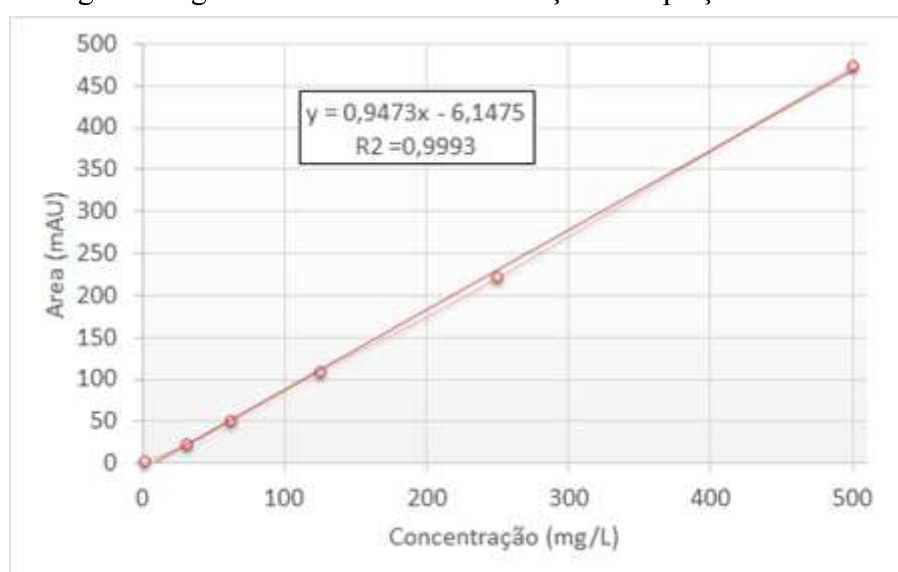


Figura 6. Gráfico de linearidade.

A figura 6 retrata a linearidade nas relações concentração x área obtidas na calibração de forma que os pontos seguem uma tendência ascendente constante com uma fortíssima correlação representada pela equação da reta. Sendo assim para o composto cloridrato de tetraciclina em que se pretende estimar a concentração (y) basta aplicar a equação em razão da área (x) dada pela cromatografia.

Na Tabela 4 e Figura 7 o resultado da quantificação da concentração nos tempos de tratamento por PNT e respectivo desvio padrão relativo. Houve significativa diminuição da concentração do cloridrato de tetraciclina, reduzindo quase 93,56% da concentração inicial de 100 mg/L para 6,44 mg/L em 30 minutos. No entanto é válido ressaltar que para o tempo relativamente inferior (15 minutos), o percentual de degradação 92,19% foi atingido, considerando o teste de sensibilidade que apontou a presença do fármaco em 10 minutos, o tempo de tratamento de 15 minutos a princípio parece o mais indicado.

Tabela 4. Relação tempo x degradação.

Tempo (minutos)	Concentração (mg/L)	RSD*
0	107.71	2,07
10	8,72	3,03
15	7,81	2,68
30	6,44	0,14

* Desvio padrão relativo (aceitável) <5%

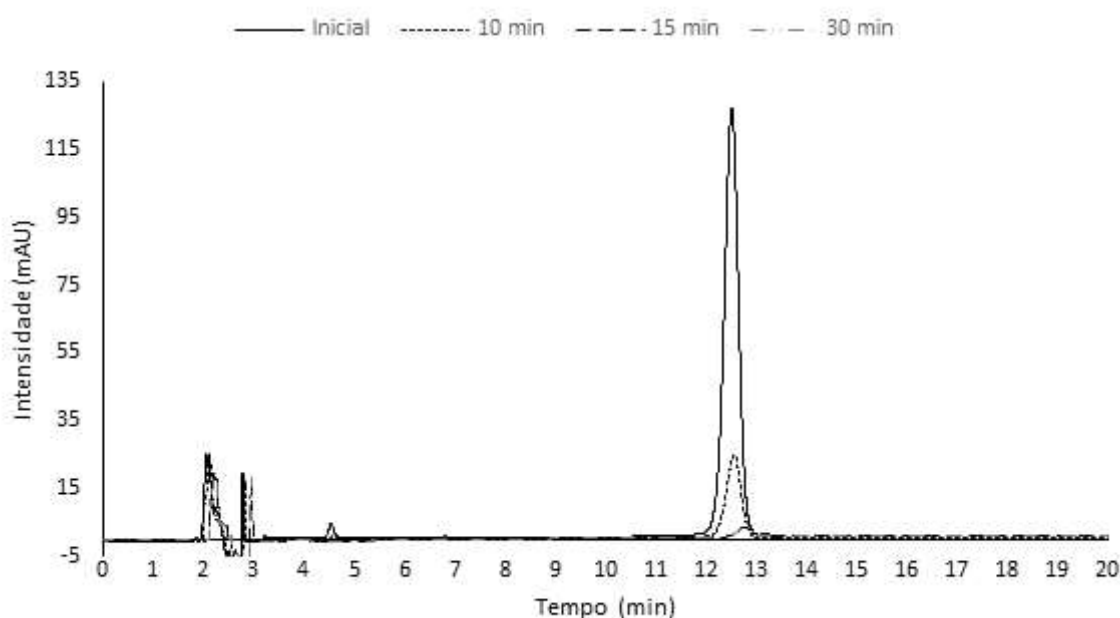


Figura 7. Cromatograma

Realizando o teste ANOVA (Tabela 5) para conhecermos a diferença das médias de concentração entre as distribuições de tempo, temos que o P-valor (5.2×10^{-13}) muito menor que $\alpha=0,05$ (IC 95%), indicando que há pelo menos uma variável com diferença altamente

significativa. Indicado nesse caso realizar o teste de Tukey para verificar qual distribuição se difere ou se aproxima mais. Conforme Tabela 5 e Figura 8 pode-se afirmar que os pares com diferenças significativas são aqueles com limites inferiores (lwr) positivos, e percebe-se claramente que os pares formados com o tempo zero se diferenciam significativamente. No entanto, ao se avaliar as médias de concentração dos tempos 10min, 15min e 30min, indica pertencerem ao mesmo grupo e as médias que mais se aproximam são as de tempo 10min-15min.

Tabela 5. ANOVA.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	P value	Pr(>F)
Tempo	3	22504	7501	3931	5.2e-13	***
Residuals	8	15	2			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Aplicando teste de Bartlett reafirmamos a não homogeneidade das variâncias, P-valor (6.785e-05) inferior a $\alpha=0,05$ (IC 95%) indicando a significativa diferença entre as concentrações.

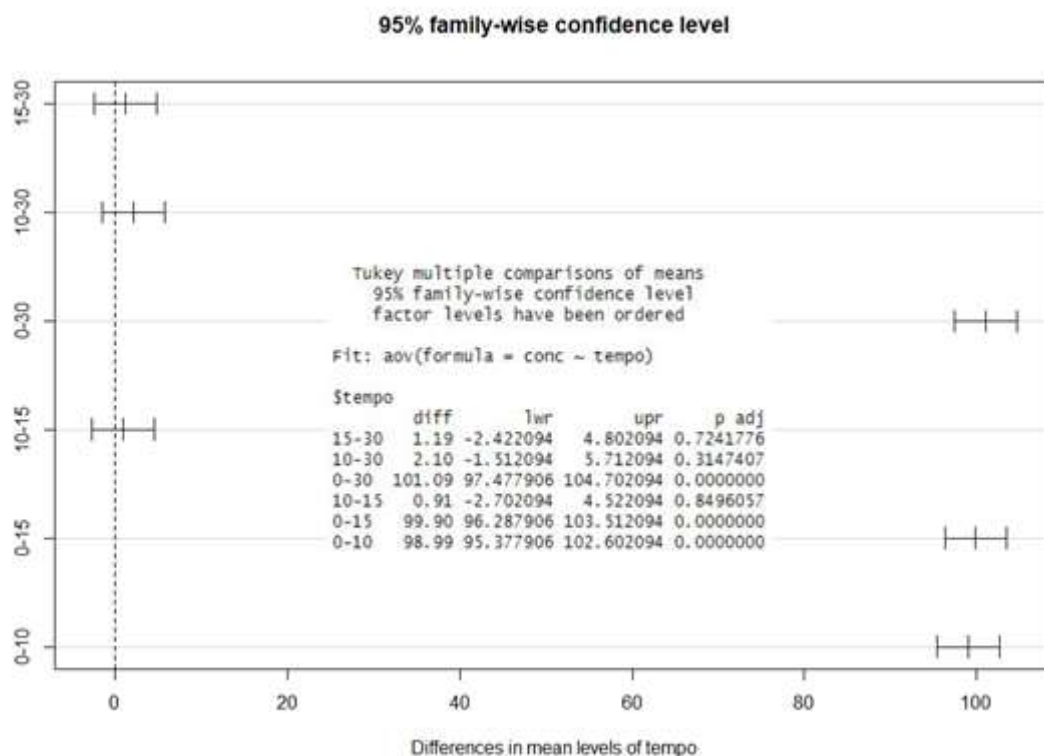


Figura 8. Gráfico de Tukey

Pesquisas recentes também analisaram a degradação da tetraciclina através do PNT, a exemplo de H. Li, et al. (2020) que conseguiram reduzir 93,3%, utilizando concentração de 50mg/L, com 20 minutos de tratamento e tensão de 19KV, para um volume de 500ml. Já D. He et al., 2014, utilizaram concentração de 100 mg/L, atingiram 45,7% de degradação, para 250 ml tratado a 36 W de potência por 24 minutos. Ainda S. Tang et al., 2017, degradaram 82,6%

em 15 minutos de tratamento por plasma, numa concentração de 40 mg/L, com tensão de 7Kv e 900 ml tratados. S. Tang et al. (2018) fizeram pesquisa com a oxitetraciclina e conseguiram degradar 93,4%, em volume de 900 ml, concentração de 100 mg/L, por 20 minutos de plasma utilizando tensão de 7,5 KV.

4. Conclusão

O objetivo da presente pesquisa, em comparação a outros resultados de pesquisas já realizadas, foi alcançada ao inferir que a degradação do cloridrato de tetraciclina foi bem sucedida, com baixo tempo de tratamento por PNT e concentração relativamente alta. Considerando que no tempo 10 minutos a análise de sensibilidade apontou inibição ao antibiótico, ou seja, não foi totalmente degradado (91,28%) com potencial de interferir no meio ambiente, ainda que a concentração inicial esteja bem acima do que se encontra em efluentes hospitalares, águas residuárias, superficiais ou subterrâneas, para a pesquisa os dez minutos não se mostrou eficiente.

A partir da análise estatística observou-se que há equivalências nos limiares de tratamento dos tempos de 10 e 15 e 30 minutos. No entanto, o teste de sensibilidade e cromatografia apontou que com 10 minutos permanece resíduos de tetraciclina não degradada na amostra (8,72 mg/L) suficiente para inibir a bactéria, ou seja, podendo causar interferência ao meio ambiente e contribuindo para a resistência bacteriana. Assim descarta-se a hipótese de se tratar a água fortificada por 10 minutos. Com o tratamento nos tempos 15 ou 30 minutos tem-se os mesmos resultados, visando a otimização do tempo, volumes de tratamento, gastos energéticos e dentre outros, optou-se por indicar o tratamento mínimo de 15 minutos.

A partir do exposto neste estudo, aponta-se como lacunas a serem estudadas futuramente, a formação dos subprodutos da degradação e seus compostos intermediários, e a reaplicação da metodologia aqui apresentada em amostras reais de efluentes com a presença da tetraciclina.

Referências

- Ajo, P., Preis, S., Vornamo, T., Mänttari, M., Kallioinen, M., Louhi-Kultanen, M., 2018. Hospital wastewater treatment with pilot-scale pulsed corona discharge for removal of pharmaceutical residues. *J. Environ. Chem. Eng.* 6, 1569–1577. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.02.007>
- Alonso, C.A., Domínguez, C., Heras, J., Mata, E., Pascual, V., Torres, C., Zarazaga, M., 2017. Antibioqramj: A tool for analysing images from disk diffusion tests. *Comput. Methods Programs Biomed.* 143, 159–169. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2017.03.010>
- Anghel, S.D., Zaharie-Butucel, D., Vlad, I.E., 2015. Single electrode Ar bubbled plasma source for methylene blue degradation and concurrent synthesis of carbon based nanoparticles. *J. Electrostat.* 75, 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2015.03.007>

Badger, S., Abraham, S., Stryhn, H., Trott, D.J., Jordan, D., Caraguel, C.G.B., 2019. Intra- and inter-laboratory agreement of the disc diffusion assay for assessing antimicrobial susceptibility of porcine *Escherichia coli*. *Prev. Vet. Med.* 172, 104782. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.104782>

Bailey, C., Spielmeyer, A., Hamscher, G., Schüttrumpf, H., Frings, R.M., 2016. The veterinary antibiotic journey: comparing the behaviour of sulfadiazine, sulfamethazine, sulfamethoxazole and tetracycline in cow excrement and two soils. *J. Soils Sediments* 16, 1690–1704. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1370-0>

Bezerra, A.C. da C., Pignatari, A.C.C., Gales, A.C., Guerra, C.M., Parenti, C.F., Henrique Godoy, Goto, J.M., Filho, L.S., Fagundes, M.J.D., Brum, M.M. De, Soler, O., Kuchenbecker, R., Cunha, T.R.P., 2007. Programa de Educação para a Prevenção e Controle da Resistência Microbiana e o uso Racional de Antimicrobianos - RM controle - Modulo 1 [WWW Document]. ANVISA. URL http://www.anvisa.gov.br/servicosaude/controle/rede_rm/cursos/rm_controle/opas_web/modulo1/bibliografia.htm (accessed 8.2.20).

Boxall, A.B.A., Johnson, P., Smith, E.J., Sinclair, C.J., Stutt, E., Levy, L.S., 2006. Uptake of Veterinary Medicines from Soils into Plants. *J. Agric. Food Chem.* 54, 2288–2297. <https://doi.org/10.1021/jf053041t>

BRASIL ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC N° 166, 24/07/2017 . Guia para validação de métodos analíticos - Julho, 2017.

BRASIL INMETRO. Instituto nacional de metrologia, normalização e qualidade industrial. Orientação sobre validação de métodos analíticos – DQO-GCRE-008:2016.

CHEN, H., LEE, H., CHEN, S., CHAO, Y., CHANG, M., 2008. Review of plasma catalysis on hydrocarbon reforming for hydrogen production—Interaction, integration, and prospects. *Appl. Catal. B Environ.* 85, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2008.06.021>

Crema, A.P.S., Piazza Borges, L.D., Micke, G.A., Debacher, N.A., 2020. Degradation of indigo carmine in water induced by non-thermal plasma, ozone and hydrogen peroxide: A

comparative study and by-product identification. *Chemosphere* 244, 125502. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125502>

Cubas, A.L.V., de Medeiros Machado, M., dos Santos, J.R., Zanco, J.J., Ribeiro, D.H.B., André, A.S., Debacher, N.A., Moecke, E.H.S., 2019. Effect of chemical species generated by different geometries of air and argon non-thermal plasma reactors on bacteria inactivation in water. *Sep. Purif. Technol.* 222, 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.03.057>

Daughton, C.G., Ternes, T.A., 1999. Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change? *Environ. Health Perspect.* 107, 907–938. <https://doi.org/10.1289/ehp.99107s6907>

Ezhilarasu, H., Ramalingam, R., Dhand, C., Lakshminarayanan, R., Sadiq, A., Gandhimathi, C., Ramakrishna, S., Bay, B.H., Venugopal, J.R., Srinivasan, D.K., 2019. Biocompatible Aloe vera and Tetracycline Hydrochloride Loaded Hybrid Nanofibrous Scaffolds for Skin Tissue Engineering. *Int. J. Mol. Sci.* 20, 5174. <https://doi.org/10.3390/ijms20205174>

Felix, T., Cassini, F.A., Benetoli, L.O.B., Dotto, M.E.R., Debacher, N.A., 2017. Morphological study of polymer surfaces exposed to non-thermal plasma based on contact angle and the use of scaling laws. *Appl. Surf. Sci.* 403, 57–61. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.01.036>

Fridman, A., 2008. *Plasma Chemistry*. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511546075>

Gao, P., Munir, M., Xagorarakis, I., 2012. Correlation of tetracycline and sulfonamide antibiotics with corresponding resistance genes and resistant bacteria in a conventional municipal wastewater treatment plant. *Sci. Total Environ.* 421–422, 173–183. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.01.061>

Gu, C., Karthikeyan, K.G., 2005. Sorption of the Antimicrobial Ciprofloxacin To Aluminum and Iron Hydrous Oxides. *Environ. Sci. Technol.* 39, 9166–9173. <https://doi.org/10.1021/es051109f>

Halling-Sørensen, B., Nors Nielsen, S., Lanzky, P.F., Ingerslev, F., Holten Lützhøft, H.C., Jørgensen, S.E., 1998. Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the

- environment- A review. *Chemosphere* 36, 357–393.
[https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(97\)00354-8](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(97)00354-8)
- Hamilton, L.A., Guarascio, A.J., 2019. Tetracycline Allergy. *Pharmacy* 7, 104.
<https://doi.org/10.3390/pharmacy7030104>
- He, D., Sun, Y., Xin, L., Feng, J., 2014. Aqueous tetracycline degradation by non-thermal plasma combined with nano-TiO₂. *Chem. Eng. J.* 258, 18–25.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.07.089>
- Heberer, T., 2002. Occurrence, fate, and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment: a review of recent research data. *Toxicol. Lett.* 131, 5–17.
[https://doi.org/10.1016/S0378-4274\(02\)00041-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4274(02)00041-3)
- Heinlin, J., Morfill, G., Landthaler, M., Stolz, W., Isbary, G., Zimmermann, J.L., Shimizu, T., Karrer, S., 2010. Plasma medicine: possible applications in dermatology. *JDDG J. der Dtsch. Dermatologischen Gesellschaft* 8, 968–976. <https://doi.org/10.1111/j.1610-0387.2010.07495.x>
- Jiang, B., Zheng, J., Qiu, S., Wu, M., Zhang, Q., Yan, Z., Xue, Q., 2014. Review on electrical discharge plasma technology for wastewater remediation. *Chem. Eng. J.* 236, 348–368.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.09.090>
- Jorgensen, J.H., Ferraro, M.J., 2009. Antimicrobial susceptibility testing: A review of general principles and contemporary practices. *Clin. Infect. Dis.* 49, 1749–1755.
<https://doi.org/10.1086/647952>
- Kim, K.-S., Yang, C.-S., Mok, Y.S., 2013. Degradation of veterinary antibiotics by dielectric barrier discharge plasma. *Chem. Eng. J.* 219, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.12.079>
- Kim, K.S., Yang, C.S., Mok, Y.S., 2013. Degradation of veterinary antibiotics by dielectric barrier discharge plasma. *Chem. Eng. J.* 219, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.12.079>
- Korolkovas, A., Burckhalter, J.H., 1982. *Química Farmacêutica*, 1st ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.

- Kümmerer, K., 2003. Promoting resistance by the emission of antibiotics from hospitals and households into effluent. *Clin. Microbiol. Infect.* 9, 1203–1214. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2003.00739.x>
- Li, H., Li, T., He, S., Zhou, J., Wang, T., Zhu, L., 2020. Efficient degradation of antibiotics by non-thermal discharge plasma: Highlight the impacts of molecular structures and degradation pathways. *Chem. Eng. J.* 395, 125091. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.125091>
- Lin, Y.-L., 2017. Effects of organic, biological and colloidal fouling on the removal of pharmaceuticals and personal care products by nanofiltration and reverse osmosis membranes. *J. Memb. Sci.* 542, 342–351. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.08.023>
- Liu, F., Zhang, X., Li, Y., Gao, H., Ling, P., Li, X., Chen, Q., Ma, A., Shao, H., Li, M., Wang, F., 2018. Simultaneous Screening and Determination of Eight Tetracycline Antibiotics Illegally Adulterated in Herbal Preparations Using HPLC–DAD Combined with LC–MS–MS. *Chromatographia* 81, 303–314. <https://doi.org/10.1007/s10337-017-3450-8>
- Lukes, P., Locke, B.R., Brisset, J.-L., 2012. Aqueous-Phase Chemistry of Electrical Discharge Plasma in Water and in Gas-Liquid Environments, in: *Plasma Chemistry and Catalysis in Gases and Liquids*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, pp. 243–308. <https://doi.org/10.1002/9783527649525.ch7>
- Luo, Y., Wang, Q., Lu, Q., Mu, Q., Mao, D., 2014. An Ionic Liquid Facilitates the Proliferation of Antibiotic Resistance Genes Mediated by Class I Integrins. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 1, 266–270. <https://doi.org/10.1021/ez500103v>
- Merche, D., Vandecasteele, N., Reniers, F., 2012. Atmospheric plasmas for thin film deposition: A critical review. *Thin Solid Films* 520, 4219–4236. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2012.01.026>
- Murugesan, P., V., E.M., Moses, J.A., Anandharamakrishnan, C., 2020. Water decontamination of using non-thermal plasma: Concepts, applications, and prospects. *J. Environ. Chem. Eng.* 157, 104377. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104377>

Oskotskaya, E.R., Gribov, E.N., Kalinin, M.N., 2014. Sorption and chromatographic determination of tetracycline in milk and dairy products. *Moscow Univ. Chem. Bull.* 69, 225–228. <https://doi.org/10.3103/S0027131414050058>

Park, H., Choung, Y.-K., 2007. Degradation of Antibiotics (Tetracycline, Sulfathiazole, Ampicillin) Using Enzymes of Glutathion S-Transferase. *Hum. Ecol. Risk Assess. An Int. J.* 13, 1147–1155. <https://doi.org/10.1080/10807030701506223>

Pereira-Maia, E.C., Silva, P.P., Almeida, W.B. de, Santos, H.F. dos, Marcial, B.L., Ruggiero, R., Guerra, W., 2010. Tetraciclina e glicilciclina: uma visão geral. *Quim. Nova* 33, 700–706. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000300038>

Phoon, B.L., Ong, C.C., Mohamed Saheed, M.S., Show, P.-L., Chang, J.-S., Ling, T.C., Lam, S.S., Juan, J.C., 2020. Conventional and emerging technologies for removal of antibiotics from wastewater. *J. Hazard. Mater.* 400, 122961. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122961>

Ribani, M., Bottoli, Carla B.-G., Collins, Carol H., Jardim, Isabel C.-S.-F., Melo, Lúcio F.-C., 2004. Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos. *Química Nova*, 27(5), 771–780. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422004000500017>

Roberts, M.C., Schwarz, S., 2016. Tetracycline and Phenicol Resistance Genes and Mechanisms: Importance for Agriculture, the Environment, and Humans. *J. Environ. Qual.* 45, 576–592. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.04.0207>

Sanderson, H., Thomsen, M., 2009. Comparative analysis of pharmaceuticals versus industrial chemicals acute aquatic toxicity classification according to the United Nations classification system for chemicals. Assessment of the (Q)SAR predictability of pharmaceuticals acute aquatic toxicity. *Toxicol. Lett.* 187, 84–93. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2009.02.003>

Tang, S., Yuan, D., Rao, Y., Li, N., Qi, J., Cheng, T., Sun, Z., Gu, J., Huang, H., 2018a. Persulfate activation in gas phase surface discharge plasma for synergetic removal of antibiotic in water. *Chem. Eng. J.* 337, 446–454. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.12.117>

- Tang, S., Yuan, D., Rao, Y., Zhang, J., Qu, Y., Gu, J., 2018b. Evaluation of antibiotic oxytetracycline removal in water using a gas phase dielectric barrier discharge plasma. *J. Environ. Manage.* 226, 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.022>
- Valério, N., Oliveira, C., Jesus, V., Branco, T., Pereira, C., Moreirinha, C., Almeida, A., 2017. Effects of single and combined use of bacteriophages and antibiotics to inactivate *Escherichia coli*. *Virus Res.* 240, 8–17. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2017.07.015>
- Wang, G., Zhu, R., Yang, L., Wang, K., Zhang, Q., Su, X., Yang, B., Zhang, J., Fang, J., 2016. Non-thermal plasma for inactivated-vaccine preparation. *Vaccine* 34, 1126–1132. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2015.10.099>
- Wang, J., Zhi, D., Zhou, H., He, X., Zhang, D., 2018. Evaluating tetracycline degradation pathway and intermediate toxicity during the electrochemical oxidation over a Ti/TiO₂ anode. *Water Res.* 137, 324–334. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.03.030>
- Wang, T., Qu, G., Ren, J., Sun, Q., Liang, D., Hu, S., 2016. Organic acids enhanced decoloration of azo dye in gas phase surface discharge plasma system. *J. Hazard. Mater.* 302, 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.09.051>
- Watkinson, A.J., Murby, E.J., Costanzo, S.D., 2007. Removal of antibiotics in conventional and advanced wastewater treatment: Implications for environmental discharge and wastewater recycling. *Water Res.* 41, 4164–4176. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.04.005>
- Xu, H., Ma, R., Zhu, Y., Du, M., Zhang, H., Jiao, Z., 2020. A systematic study of the antimicrobial mechanisms of cold atmospheric-pressure plasma for water disinfection. *Sci. Total Environ.* 703, 134965. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134965>
- Yang, H., Yu, X., Liu, J., Wang, L., Guo, M., 2019. Preparation of magnetic Fe₃O₄/activated carbon fiber and a study of the tetracycline adsorption in aquaculture wastewater. *Mater. Technol.* 53, 505–510. <https://doi.org/10.17222/mt.2018.234>
- Zhang, H., Ma, D., Qiu, R., Tang, Y., Du, C., 2017. Non-thermal plasma technology for organic contaminated soil remediation: A review. *Chem. Eng. J.* 313, 157–170. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.067>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se considerar os potenciais impactos que as instituições hospitalares podem causar, algumas ações podem contribuir para a preservação do meio ambiente, como instruir e treinar a força de trabalho e conscientizar os pacientes quanto aos riscos de contaminação e os impactos de se usar, consumir e descartar de forma incorreta medicamentos, produtos químicos ou quimioterápicos, e dentre outros; utilizar com atenção os equipamentos que lhes são destinados; atenção e controle adequado da exposição de gases e vapores gerados nos processos tratamento e disposição dos resíduos; Cuidados com a gestão, saúde e segurança ocupacional proporcionando estrutura e jornadas adequadas. Dentre os impactos que se destacaram a resistência antimicrobiana dos patógenos foi a que chamou atenção pelo potencial de agravar doenças, ou se tornar imune a tratamentos e comprometer milhares de vidas por ano no mundo todo.

Buscando contribuir para minimizar a exposição de fármacos aos corpos hídricos, e diminuir a resistência antibacteriana, dando continuidade ao estudo foi estabelecido o tratamento do antibiótico cloridrato de tetraciclina por processo avançado de oxidação utilizando o plasma não térmico. Os resultados foram satisfatórios e conseguiu-se atingir altos índices de degradação em baixo tempo de tratamento. Com isso a pesquisa evoluiu tanto no sentido científico como também no âmbito social, pois aponta para apoiar os objetivos dos desenvolvimento sustentável, com ODS-2.4 no que tange a manter os ecossistemas e melhorar a qualidade da terra e do solo, sem antibiótico; ODS-3.9 reduzir o número de mortes e doenças por contaminação; ODS-6.1 água potável e segura para todos; ODS-6.3 melhorando a qualidade da água, e possibilitando a reutilização segura; ODS-6.a com possibilidade de contribuir internacionalmente e apoiar a capacitação para o tratamento de efluentes e tecnologias de reuso.

Alguns pontos limitantes da pesquisa merecem destaque, dentre eles o atual momento de pandemia vivido e as restrições de acesso à universidade, a disponibilidade e o alto custo de equipamentos sofisticados de análise laboratorial. O baixo número de publicações que pudessem amparar algumas análises e fenômenos observados durante o processo da pesquisa prática.

Para pesquisas futuras propõe-se o estudo para outros micropoluentes ou microcontaminantes de preocupações emergentes que como o antibiótico podem também

impactar o meio ambiente, como é o caso dos anti-inflamatórios, antidepressivos, hormônios, anticoncepcionais. Ainda gostaria de salientar que o presente estudo não se realizou com efluente hospitalar, mas sim com água fortificada com antibiótico, nesse sentido é importante ressaltar que a presença de qualquer outro interveniente os resultados serão totalmente diferentes, pois os efluentes hospitalares contém diversos compostos. Assim a pesquisa com efluente real, para verificar se o que se indica como ideal de fato pode ser considerado, ainda que complexo, se faz necessário.

REFERÊNCIAS

- AJO, P. et al. Hospital wastewater treatment with pilot-scale pulsed corona discharge for removal of pharmaceutical residues. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 2, p. 1569–1577, abr. 2018.
- BARCELÓ, D. Emerging pollutants in water analysis. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 22, n. 10, p. xiv–xvi, nov. 2003.
- COSTA, M. C. L. O Discurso Higienista Definindo a Cidade (the hygienist discourse defining the citie). **Mercator : Revista de Geografia da UFC**, v. 12, n. 29, p. 51–67, 2013.
- FEKADU, S. et al. Assessment of antibiotic- and disinfectant-resistant bacteria in hospital wastewater, south Ethiopia: a cross-sectional study. **The Journal of Infection in Developing Countries**, v. 9, n. 02, p. 149–156, 19 fev. 2015.
- FILHO, J. M. **História da medicina**. Disponível em: <<https://www.cremesp.org.br/?siteAcao=Revista&id=307>>. Acesso em: 1 set. 2020.
- FREIE VIEIRA, P.; WEBER, J. **Gestão de recursos naturais renováveis e desenvolvimento . novos desafios para a pesquisa ambiental**. [s.l.] Cortez, 1997.
- GUIMARÃES, D. O.; MOMESSO, L. DA S.; PUPO, M. T. Antibióticos: importância terapêutica e perspectivas para a descoberta e desenvolvimento de novos agentes. **Química2**, v. 33, n. 3, p. 667–679, 2010.
- HALDEN, R. U. Epistemology of contaminants of emerging concern and literature meta-analysis. **Journal of Hazardous Materials**, v. 282, p. 2–9, jan. 2015.
- HORVATIN, S. A importância da conscientização da geração atual e futura na recuperação e preservação do meio-ambiente. **Revista Sustinere**, v. 4, n. 1, p. 154–159, 18 jul. 2016.
- KHAN, N. A. et al. Occurrence, sources and conventional treatment techniques for various antibiotics present in hospital wastewaters: A critical review. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 129, p. 115921, ago. 2020.
- KÜMMERER, K. Promoting resistance by the emission of antibiotics from hospitals and households into effluent. **Clinical Microbiology and Infection**, v. 9, n. 12, p. 1203–1214, 2003.
- NG, C. et al. Characterization of Metagenomes in Urban Aquatic Compartments Reveals High Prevalence of Clinically Relevant Antibiotic Resistance Genes in Wastewaters. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, n. NOV, p. 1–12, 16 nov. 2017.

OMS. WHO Report on Surveillance of Antibiotic Consumption 2016 - 2018 Early implementation. Disponível em:

<https://www.who.int/medicines/areas/rational_use/oms-amr-amc-report-2016-2018/en/>.

Acesso em: 1 set. 2020.

ONU. OPAS lança manual para combater resistência de bactérias a antibióticos.

Disponível em:

<<https://nacoesunidas.org/opas-lanca-manual-para-combater-resistencia-de-bacterias-a-antibioticos/>>. Acesso em: 1 set. 2020.

ONU. OMS lança estratégia para combater resistência de bactérias a antibióticos.

Disponível em:

<https://nacoesunidas.org/oms-lanca-estrategia-para-combater-resistencia-de-bacterias-a-antibioticos>. Acesso em: 1 set. 2020a.

ONU. Doenças resistentes a medicamentos poderão causar 10 milhões de mortes por ano no mundo. Disponível em:

<<https://nacoesunidas.org/doencas-resistentes-a-medicamentos-poderao-causar-10-milhoes-de-mortes-por-ano-no-mundo/>>. Acesso em: 1 set. 2020b.

OURGHANLIAN, C. et al. Pharmacists' role in antimicrobial stewardship and relationship with antibiotic consumption in hospitals: An observational multicentre study. **Journal of Global Antimicrobial Resistance**, v. 20, p. 131–134, mar. 2020.

PAULSHUS, E. et al. Diversity and antibiotic resistance among Escherichia coli populations in hospital and community wastewater compared to wastewater at the receiving urban treatment plant. **Water Research**, v. 161, p. 232–241, set. 2019.

PORTO, A. P. M. et al. Global point prevalence survey of antimicrobial consumption in Brazilian hospitals. **Journal of Hospital Infection**, v. 104, n. 2, p. 165–171, 2020.

REICHERT, G. et al. Emerging contaminants and antibiotic resistance in the different environmental matrices of Latin America. **Environmental Pollution**, v. 255, p. 113140, dez. 2019.

XU, J. et al. Antibiotic use in chicken farms in northwestern China. **Antimicrobial Resistance & Infection Control**, v. 9, n. 1, p. 10, 7 dez. 2020.