



O TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS ATRAVÉS DE SISTEMAS UTILIZANDO AGENTES DE FITORREMEDIAÇÃO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Alex Eduardo Lopes¹
Neimar de Freitas Duarte²

RESUMO

Este artigo tem o objetivo de realizar uma breve revisão sistemática sobre a fitorremediação aplicada no tratamento de efluentes líquidos e resíduos de efluentes através da análise e discussão de onze pesquisas acadêmicas que abordam o assunto. A escolha da literatura apoiou-se na aplicação de quatro filtros de busca, onde cada filtro apresentava níveis de especificidade diferentes. A eficiência de tratamento dos sistemas experimentais foi considerada pelos autores variando de médio a bom para a maioria dos parâmetros analisados. Recomenda-se que novos estudos sejam conduzidos para a comparação dos resultados com os apresentados por esses autores, a fim de endossar ou contestar o método de tratamento propostos por eles, além de abrir caminhos para a descoberta de novos benefícios proporcionados por essas espécies vegetais e que não foram contemplados nesses trabalhos.

Palavras-chave: Recursos hídricos. Tecnologia alternativa. Efluentes sanitários.

¹ Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG). Mestrando em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) *Campus* Bambuí MG. E-MAIL: alex.eduardo@gmail.com

² Doutor em Biologia Vegetal pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professor efetivo e Pró Reitor de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG). Belo Horizonte MG. E-MAIL: neimar@ifmg.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A revisão sistemática é apresentada como uma análise de informações sobre um determinado assunto de modo objetivo e que possa ser reproduzível através do método científico. Os seus princípios partem da busca sistematizada das pesquisas publicadas, seguido pela escolha das mais relevantes de acordo com os critérios previamente selecionados e pela avaliação da metodologia, discutindo os resultados por meio de uma abordagem qualitativa ou quantitativa (LIMA *et al.*, 2000 apud GALVÃO *et al.*, 2004). De uma maneira geral, a revisão sistemática atualiza os pesquisadores sobre assuntos que precisam de uma revisão rápida em uma determinada área do conhecimento, auxiliando-os no direcionamento de estudos futuros (ARAÚJO *et al.*, 2008).

A literatura contempla uma grande variedade de pesquisas que abordam a fitorremediação como parte auxiliar dos sistemas de tratamento de efluentes ou resíduos sanitários. Monteiro (2008) frisa que a escolha pelo mecanismo de fitorremediação a ser utilizado deve considerar as características do contaminante, bem como o local e a profundidade da contaminação.

Dentre esses mecanismos de tratamento, os mais comuns são os de alagados construídos (conhecidos também como *wetlands*) que simulam as reações ocorridas no ambiente natural (SIQUEIRA, 2014), propiciando a redução de contaminantes a níveis seguros para a proteção à saúde humana e na redução da possibilidade de danos ambientais (ANDRADE *et al.*, 2007). Além disso, esses sistemas naturais promovem uma função paisagística para uso recreacional, comercial ou para a educação humana (KADLEC e KNIGHT, 1996 *apud* SANTOS, 2012). As suas principais vantagens resultam da habilidade para trabalhar com cargas variáveis, manutenção de baixo custo, simplicidade de operação, além da boa remoção dos contaminantes (NIKOLIĆ *et al.*, 2009 *apud* SIQUEIRA, 2014).

O objetivo desse artigo é promover uma revisão sistemática acerca do tratamento de efluentes líquidos ou resíduos de efluentes através da fitorremediação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização desse trabalho, utilizou-se a metodologia de revisão bibliográfica através das plataformas de busca acadêmica, a constar: Google Acadêmico, CAPES e SCIELO. A seleção dos trabalhos científicos mais relevantes foi determinada a partir da definição de palavras chaves nos idiomas português e inglês.

Priorizou-se a leitura dos textos acadêmicos que abordavam as pesquisas experimentais sobre o tratamento de efluentes a partir da fitorremediação. Realizou-se uma busca apoiada na aplicação de quatro filtros de pesquisa, no qual cada filtro apresentava níveis de especificidade diferentes.

No primeiro filtro utilizou-se o termo “fitorremediação” que resultou na disponibilidade de 36.700 estudos no Google, 1.950 no Google Acadêmico, 145 na CAPES e 70 na SCIELO.

No segundo filtro utilizou-se o termo “saneamento” e foram encontrados 8.400 estudos no Google, 446 no Google Acadêmico, 4 na CAPES e nenhum na plataforma SCIELO.

Utilizou-se a palavra-chave “tratamento” no terceiro filtro, resultando em 7.320 textos no Google, 413 no Google Acadêmico, 3 documentos na plataforma CAPES e nenhum na SCIELO.

Por último, no quarto filtro, utilizou-se o termo “efluente sanitário” retornando em 2.960 textos no Google, 240 no Google acadêmico e nenhum texto nas plataformas CAPES e SCIELO.

Quadro 1: Filtros de busca e resultados encontrados nas plataformas de pesquisas

Filtro	Palavra Chave	Google	Google Acadêmico	CAPES	SCIELO
1	Fitorremediação	36.700	1.950	145	70
2	Saneamento	8.400	446	4	0
3	Tratamento	7.320	413	3	0
4	Efluentes Sanitários	2.960	240	0	0

Através da leitura dos títulos dos textos do Google Acadêmico constatou-se que 95 trabalhos não se relacionavam diretamente com o assunto de interesse e 10 apareciam em duplicidade. A seguir, realizou-se a leitura dos resumos dos restantes. Nesta etapa foram selecionados apenas 8 trabalhos para a leitura do texto integral R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 6, n. 1, p. 432 - 441, abr./set. 2017

devido a sua compatibilidade com o tema de pesquisa. Da plataforma CAPES foram selecionados para a leitura os três trabalhos encontrados na terceira fase de busca.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As pesquisas consultadas para essa revisão sistemática apresentam uma visão que partem do princípio de compreender os agentes de fitorremediação em busca de soluções que possam melhorar a qualidade das águas, das relações ecológicas, do bem-estar social e promover o reuso das águas ou lodos de efluentes para fins comerciais.

Quadro 2: Pesquisas analisadas para a revisão sistemática

Ano	Autores	Assunto
2004	Costa	Utilizou capim elefante (<i>Pennisetum purpureum</i>), <i>Brachiaria decumbens</i> e milheto forrageiro (<i>Pennisetum graucum</i>) no tratamento de esgoto.
2009	Quiroz	Avaliou o potencial de <i>Atriplex numularia</i> na redução do teor de sais e de sódio durante a irrigação contínua com efluentes de esgotos tratados.
2009	Santos	Avaliou a capacidade das espécies <i>Azolla caroliniana</i> , <i>Salvinia mínima</i> e <i>Spirodela polyrhiza</i> de acumular o manganês.
2011	Pitaluga	Avaliou o comportamento de substratos diferentes na remoção de poluentes de um sistema de tanque séptico seguido por sistema do tipo zona de raízes.
2011	Quege	Observou a eficiência de espécies de bambu (<i>Guadua angustifolia</i> , <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Phyllostachys bambusoides</i>) no tratamento de efluente sanitário em um sistema do tipo zona de raízes.
2012	Santos	Verificou o desenvolvimento e o desempenho da <i>Chrysopogon zizanioides</i> na remoção de poluentes em sistemas de alagados construídos.
2012	Silva	Identificou entre várias espécies vegetais as que possuem maior eficiência na acumulação de metais tóxicos.
2014	Filho	Estudou a morfologia externa e interna da raiz de <i>Chrysopogon zizanioides</i> submetida ao

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 6, n. 1, p. 432 - 441, abr./set. 2017

		esgoto em diferentes concentrações de oxigênio dissolvido.
2014	Silveira e Arsego	Avaliou a eficiência do copo de leite (<i>Zantedeschia aethiopica</i>) no tratamento de esgoto por zona de raízes para a remoção de poluentes.
2014	Siqueira	Avaliou a eficiência do sistema de alagado construído cultivado com <i>Chrysopogon zizanioides</i> no tratamento da fração líquida dos resíduos de fossas e tanques sépticos.
2016	Minari	Observou a distribuição espacial de cádmio, cromo e níquel em solo sob plantio com aplicação de lodo de esgoto.

O critério de comparação foi estabelecido de acordo com a opinião dos autores sobre a eficiência na utilização de determinada(s) espécie(s) vegetal(is) como fitorremediadoras. Alguns estudos abordaram as consequências da contaminação do efluente sobre o desenvolvimento da planta ou na influência que o substrato pode ter sobre o resultado final.

Partindo das pesquisas em comum, Santos (2012) e Siqueira (2014), propõem experimentos para a avaliação do desenvolvimento do capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) em sistemas de alagados construídos para a remoção dos poluentes de esgotos sanitários e para a remoção de poluentes em resíduos transportados de tanques sépticos, respectivamente.

Santos (2012) observou uma alta taxa de estoque de nutrientes através da incorporação à biomassa da planta e uma eficiência satisfatória na redução da demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total e nitrogênio amoniacal, além do aumento de nitrito e nitrato, sugerindo o uso do efluente tratado na fertirrigação.

O nitrogênio amoniacal não apresentou boa redução no sistema criado por Siqueira (2014), que considerou como pontos fortes do seu trabalho a eficiência da fitorremediação para a redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), pH, óleos e graxas e sólidos sedimentáveis.

Em outro estudo sobre o *Chrysopogon zizanioides*, Filho (2014) descobriu que o desenvolvimento morfológico e anatômico das raízes das plantas são afetadas em função das concentrações de oxigênio dissolvido nas lagoas de efluentes. Essa pesquisa ressaltou a tolerância da espécie que é considerada resiliente em diversos meios com condições adversas, inclusive nas lagoas de tratamento de esgoto.

Silveira e Arsego (2014) avaliaram a eficiência de um sistema de alagado construído por zona de raízes cultivado com *Zantedeschia aethiopica* desenvolvido numa pesquisa de mestrado e que depois não recebeu uma manutenção adequada. As análises decorrentes dessa avaliação demonstraram que os parâmetros pH, temperatura e sólidos totais se mantiveram regulares durante o tratamento. As concentrações de fósforo e nitrogênio foram consideradas acima dos limites para o lançamento em curso de água receptor e a pesquisa também mostrou uma redução apenas parcial de matéria orgânica e oxigênio dissolvido.

O potencial de fitorremediação em uma escala piloto foi avaliado por Costa (2004), que observou na espécie *Pennisetum purpureum* uma grande contribuição para a remoção de DBO, fosfatos e matéria orgânica do efluente tratado, enquanto a *Phragmites australis* apresentou a maior remoção de DQO, amônia, nitrato e sólidos sedimentáveis. O autor também avaliou a remoção de cromo, cujas espécies *Pennisetum purpureum* e *Brachiaria decumbens* apresentaram bons resultados de fitoacumulação.

A remoção de manganês foi o alvo de estudo para Santos (2009), que recomendou o uso da macrófita *Spirodela polyrhiza* na fitorremediação de ambientes contaminados pela sua maior capacidade de acumulação de manganês em solução, embora as concentrações muito elevadas (0,3 e 0,4 mM) resultaram em toxidez para a planta. As espécies *Araceae* e *Deffenbachia picta* foram as mais notáveis na acumulação de manganês na pesquisa de Silva (2012).

Silva (2012) ainda destaca que a *Vismia japurusensis* tem a capacidade de extração para quase todos os metais avaliados e as espécies *Annona* e *Deffenbachia picta* apresentaram absorção de zinco a níveis críticos de contaminação evidenciando o seu papel de fitoacumuladoras.

Quege (2011) observou que as espécies de bambu *Guadua angustifolia* e *Phyllostachys bambusoides* desenvolveram-se normalmente em ambiente cultivado com esgoto sanitário, enquanto a *Phyllostachys aurea* mostrou-se sensível à aplicação desse efluente. Nesse estudo, foi observada boa redução de DBO, com a espécie *Guadua angustifolia* apresentando maior eficiência de remoção da carga poluente para todos os aspectos analisados.

Quiroz (2009) focou a sua pesquisa na qualidade do solo, e observou que a *Atriplex numularia* cultivada com efluentes de esgotos tratados favorecem a remoção de sódio e promovem o aumento dos teores de cálcio e magnésio no solo.

Pitaluga (2011) avaliou a eficiência e o comportamento de substratos no tratamento de esgoto num sistema de zona por raízes cultivado com lírio do brejo (*Heldyichium coronarium*), concluindo que a eficiência do sistema de tratamento oscilou consideravelmente no decorrer do tempo em praticamente todos os parâmetros analisados, recomendando o uso de unidades complementares para melhorar essa eficiência.

Por fim, Minari (2016) conduziu um estudo sobre a distribuição espacial de cádmio, cromo e níquel em solos sob plantio com aplicação de lodo de esgoto em áreas de exploração agrícola, identificando que a fertilização mineral e a aplicação de lodo contribuíram no acúmulo de níquel e cromo no solo.

4 CONCLUSÃO

Espera-se que essa revisão sistemática possa contribuir para as pesquisas futuras, oferecendo subsídios aos autores para a aquisição de novos conhecimentos sobre os mecanismos de fitorremediação e suas aplicações para o tratamento de efluentes.

Observou-se que a maioria dos trabalhos apresentados nesse artigo discutiram o potencial de fitorremediação de espécies distintas na avaliação de descontaminação de poluentes distintos, resultando, geralmente, em bons níveis de eficiência de tratamento.

Recomenda-se que novos experimentos sejam conduzidos utilizando as espécies aqui discutidas, seja para endossar ou contestar as literaturas apresentadas ou para identificar novos benefícios na utilização dessas espécies que não foram contempladas nesses trabalhos.

WASTEWATER TREATMENT SYSTEMS BY USING PHYTOREMEDIATION AGENTS: A SYSTEMATIC REVIEW

ABSTRACT

This paper is intended to conduct a brief systematic review on phytoremediation applied in the treatment of wastewater effluents, through analysis and discussion of eleven researches about the subject. The choice of the literature relied on the application of four search filters in which each filter had different levels of specificity. The treatment efficiency of the experimental systems was considered by the authors of these searches ranging from moderate to good for most of the analyzed parameters. It is recommended that new studies be conducted for comparing the results with those presented by these authors, and pave the way for the discovery of new benefits provided by these plant species related to phytoremediation of contaminated environments and that were not included in this work.

Keywords: Water resources. Alternative technology. Wastewater.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. C. M; TAVARES, S. R. L.; MAHLER, C. F. **Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

ARAÚJO, J. R. de; FERREIRA, E. F. E; ABREU, M. H. N. G de. **Revisão sistemática sobre estudos de espacialização da dengue no Brasil**. Revista Brasileira de Epidemiologia, Rio de Janeiro, v. 11, n. 4, p. 696-708, 2008. <<http://www.scielo.br/>>. Acesso em: 26 mar. 2017.

COSTA, S. M. S. P. da. **Avaliação do potencial de plantas nativas do Brasil no tratamento de esgoto doméstico e efluentes industriais em “wetlands” construídos**. 2004. 102 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2004. Disponível em: < <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/>>. Acesso em 18 jun. 2016.

FILHO, F. J. C. **Características anatômicas da raiz de *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty submetida a esgoto sanitário**. 2014. 113 f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2014. Disponível em: < <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/>>. Acesso em: 17 jun. 2016.

GALVÃO, C. M.; SAWADA, N. O.; TREVIZAN, M. A. Revisão sistemática: recurso que proporciona a incorporação das evidências na prática da enfermagem. **Revista R. gest. sust. ambient.**, Florianópolis, v. 6, n. 1, p. 432 - 441, abr./set. 2017

Latino-americana de Enfermagem, Ribeirão Preto, v. 12, n. 3, p. 549-556, maio/jun. 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/>>. Acesso em: 09 jul. 2016.

KADLEC, R.H; KNIGHT, R.L. **Treatment Wetlands**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1996.

LIMA, M. S. de; SOARES, B. G. O.; BACALTCHUK, J. Psiquiatria baseada em evidências. **Revista Brasileira de Psiquiatria**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 142-146, 2000. Disponível em: < <http://www.scielo.br/>>. Acesso em: 09 jul. 2016.

MINARI, G. D. **Acúmulo de Cádmio, Crômio e Níquel e isolamento de micro-organismos potenciais para biorremediação em área agrícola**. 2016. 87 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2016. Disponível em: <[http:// base.repositorio.unesp.br](http://base.repositorio.unesp.br/)>. Acesso em: 15 jun. 2016.

MONTEIRO, M. T. **Fitorremediação de rejeito contaminado proveniente do Canal do Fundão, na Baía de Guanabara-RJ**. 2008. 317 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2008. Disponível em: < <http://www.coc.ufrj.br/> >. Acesso em 18 jun. 2016.

NIKOLIĆ, V; MILIĆEVIĆ, D.; MILENKOVIĆ, S. Wetlands, constructed wetlands and their's role in wastewater treatment with principles and examples of using it in Serbia. **Facta Universitatis Architecture and Civil Engineering**, v. 7, n. 1, p. 65-82, 2009.

PITALUGA, D. P. S. **Avaliação de diferentes substrates no tratamento de esgoto sanitário por zona de raízes**. 2011. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente). Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2011. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/>>. Acesso em 20 jun. 2016.

QUEGE, K. E. **Tratamento de esgoto sanitário pelo sistema zona de raízes utilizando plantas de bambu**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente). Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2011. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/>>. Acesso em 19 jun. 2016.

QUIROZ, H. C. T. **Potencial fitorremediador da *Atriplex nummularia* em solos salinizados e sodificados pelo reúso de efluentes de esgotos tratados na agricultura**. 2009. 95 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2009. Disponível em: < <https://www.lume.ufrgs.br/>>. Acesso em: 14 jun. 2016.

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 6, n. 1, p. 432 - 441, abr./set. 2017

SANTOS, L. M. **Avaliação do desenvolvimento e da eficiência do capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) em sistemas híbridos de alagados construídos.** 2012. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Faculdade de Engenharia, Universidade Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Bauru. 2012. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/>>. Acesso em 20 jun. 2016.

SANTOS, C. L. dos. **Acúmulo e toxidez de manganês em macrófitas aquáticas flutuantes livres.** 57 f. Dissertação (Mestrado em Botânica). Departamento de Biologia Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2009. Disponível em: <<http://locus.ufv.br>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

SILVA, J. F. da. **Prospecção de plantas fitorremediadoras em solos contaminados por metais pesados.** 2012. 90 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia). Programa Multi-Institucional de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 2012. Disponível em: <<http://http://tede.ufam.edu.br/>>. Acesso em: 19 jun. 2016.

SILVEIRA, D. F.; ARSEGO, N. R. **Avaliação da eficiência do tratamento de esgoto por estação de zona de raízes.** 2014. 68 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão, Francisco Beltrão. 2014. Disponível em: <<http://periodicosuniarp.com.br/index>>. Acesso em 18 jun. 2016.

SIQUEIRA, E. R. **Tratamento dos resíduos de fossas e tanques sépticos em um sistema de alagado construído.** 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente). Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2014. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/>>. Acesso em 18 jun. 2016.