

Article

A Fitorremediação como Alternativa de Tratamento em Emissões de Lixiviado em Aterros Fechados

Luciana Cesário Braga¹ * , Izabel Cristina Bruno Bacellar Zaneti² 

¹ Mestranda no Programa de Pós-Graduação do Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília (UnB); ORCID: 0000-0001-8680-9772; E-mail: cbraga.luciana@gmail.com

² Doutora em Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília (UnB); ORCID: 0000-0002-7484-1799; E-mail: izabel.zaneti@yahoo.com

ABSTRACT

The closure and decommissioning of controlled landfills, although expected, raise concerns all over the world. Furthermore, the huge environmental passive and the constant production of sub products still impact the land, even after the closure of this type of landfills. The technological progress, developed new important tools, aiming not just remediation, but also total recover of this areas and the sub products. The emissions of leachate in landfills contains high levels of pollutants and has high cost to be treated. Alternative and sustainable measures stood out, as an example: phytoremediation, a plant-based technology, associating plants and microorganisms to remove pollutants from soil and water. It is a technique with low cost, low-labor-intense, with satisfying results and efficient in removing pollutants. This paper aims to present a bibliographic review about the use of phytoremediation on landfills and leachate to reach the recovery of this areas. The bibliographic review was made on the principal collection of Wef of Science in the period of 2005 to 2020. The review shows high potential of the technique with a large diversity of species on the studies, but the most of them are universally known as *Populus* sp., *Salix* sp., *Eichhornia crassipes* and *Typha latifolia*. Lots of pollutants were approach, but the most of them are present in other types of degraded areas. There is a need for more studies that were focus on different types of plants (natives as an example) that already has phytoremediator potencial described in bibliography.

Keywords: phytoremediation; leachate; landfill; garbage dump.

RESUMO

O descomissionamento e encerramento das atividades em aterros controlados e lixões, embora almejado, gera grande preocupação a todos os países. Além do enorme passivo ambiental, a produção constante de subprodutos continua a impactar o ambiente mesmo depois do encerramento das atividades nesses locais. Com os avanços tecnológicos, ferramentas importantes foram desenvolvidas visando não somente a remediação, mas também a recuperação dessas áreas e dos subprodutos gerados por ela. O lixiviado emitido por aterros, além de conter níveis significativos de poluentes, gera um custo elevado para ser devidamente armazenado e tratado. Algumas alternativas sustentáveis para seu tratamento se destacaram, uma delas é a fitorremediação utiliza plantas e sua microbiota associada na remoção de poluentes da água e do solo. Trata-se de uma tecnologia de baixo custo, pouca mão de obra, com resultados satisfatórios, abarca um ramo de contaminantes numeroso, atua tanto nos quesitos ambientais, como os sociais e econômicos. O objetivo deste trabalho é apresentar uma síntese de estudos acerca da fitorremediação em lixiviado de aterros controlados e lixões visando a recuperação



Submissão: 26/11/2020



Aceite: 09/03/2021



Publicação: 30/12/2021





ambiental. O presente trabalho apresenta uma revisão bibliográfica de artigos sobre fitorremediação em áreas de aterros indexados na Principal Coleção do “*Web of Science*” no período de 2005 a 2020. A análise bibliográfica demonstrou o enorme potencial da técnica relatando uma grande diversidade de espécies, entretanto muitos trabalhos focam em plantas já amplamente conhecidas como *Populus* sp., *Salix* sp., e as macrófitas *Eichhornia crassipes* e *Typha latifolia*. Foi observada uma diversidade ampla de poluentes tratados, porém a maioria desses são comuns a diversas áreas contaminadas, não apenas as áreas de aterro. Foi observada a necessidade de estudos com maior diversidade de espécies vegetais, visando inclusive a utilização de espécies nativas com potencial fitorremediador já relatado em outros trabalhos.

Palavras-chave: fitorremediação; lixiviado; aterro controlado; lixão.

1. Introdução

O exponencial aumento da população mundial associado aos processos de industrialização vivenciados ao longo da história, acarretou diversos problemas de escala global. Como por exemplo a redução na disponibilidade de recursos naturais e a urbanização desordenada, além de um aumento significativo na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU). Em consequência dessas preocupações, a grande geração de RSU evidenciou-se como um grave e persistente problema em todo o mundo, apresentando-se como um dos grandes desafios rumo a sustentabilidade. Estudos abordam a relação entre o aumento na geração desses resíduos e os modelos de desenvolvimento econômico atual, que aceleram o padrão de consumo e aumentam o poder aquisitivo das populações nos grandes centros urbanos (Zaneti & Silva 2017). Estudos apontam que as taxas mundiais de produção desses resíduos, mesmo que diferenciada para cada país, superam facilmente índices de crescimento demográfico (Carneiro 2002).

O descarte inadequado desse tipo de material, foi comumente realizado em locais como áreas verdes, próximos a corpos d'água, e induziu o desenvolvimento de técnicas de contenção, como incineração, reciclagem, compostagem e aterramento (Silva & Cervieri 2015). Todavia, a utilização dessas técnicas não é capaz de garantir que nenhum impacto ocorra. Os impactos ambientais são os mais evidentes na questão dos resíduos, contudo, existem ainda os impactos sociais e econômicos envolvidos (Bastos 2015). Como exemplo desses impactos pode-se citar: a contaminação do solo e dos recursos hídricos próximos as regiões de depósito, a poluição do ar, redução da qualidade de vida das populações próximas, supressão vegetal, redução na biodiversidade da fauna, aumento no número de regiões irregulares de descarte desses resíduos e ainda ocupação de áreas urbanas escassas (Simonetto & Lobler 2013).

No entanto, a presença de parâmetros a serem seguidos em relação a disposição final dos RSU, não reduz os danos causados anteriormente por disposições inadequadas nem a complexidade dos processos de remediação dos impactos que ainda ocorrem mesmo em locais que já tiveram suas atividades de depósito encerradas (Campos 2018). Além disso, esses locais se diferenciam das demais áreas degradadas devido a produção e liberação de biogás, a baixa drenagem de água da chuva e de lixiviado em razão da compactação e a movimentação do solo causada pela acomodação e decomposição dos resíduos (El-Fadel et al 1997).

Os depósitos existentes não somente no Brasil, muitas vezes não atendem as devidas precauções e demandas ambientais, ocasionando em altos níveis de degradação e dificultando tratamentos posteriores de remediação na área. De acordo com Bhalla et al (2012), a degradação ambiental presente em países em desenvolvimento em geral é causada pela gestão inapropriada dos resíduos sólidos urbanos.

Muitos desses locais tiveram suas atividades interrompidas visando atender os anseios mundiais relacionados à sustentabilidade e problemática relativa à gestão e correta disposição de resíduos sólidos. Para que então ocorra a desativação de antigos lixões e aterros controlados é fundamental que se realize a mensuração do passivo ambiental gerado no local (Motta et al 2019). Para tal análise, a coleta de informações sobre diversos aspectos locais auxiliará na etapa de diagnóstico e na escolha da técnica mais adequada para remediação (Ramos et al 2017).

A simples paralisação do aporte de resíduos não inibe a percolação de lixiviado, a ocupação irregular dessas áreas nem a instabilidade geológica e demais impactos (Lanza 2009). Neste sentido, o período pós-encerramento de aterros controlados e lixões não significa interrupção dos processos químicos e biológicos que ocorrem nesses locais (Almeida 2017). Ainda que esse processo de encerramento ocorra em todo mundo, não existem critérios técnicos específicos para avaliar e mensurar a amplitude e perpetuação dos impactos ambientais relacionados a esse processo, o que dificulta o desenvolvimento de medidas padrões (devido as especificidades de cada local)



de proteção ambiental e de proteção a saúde humana local e nos arredores (Barlaz et al 2002; Stegmann et al 2006; Scharff et al 2011; Almeida 2017).

Um dos passivos mais comuns e problemáticos nesses locais é o grande volume de lixiviado. Esse material é continuamente produzido em locais de disposição de resíduos e continua a ser gerado por anos mesmo após o encerramento das atividades dos aterros, alterando sua qualidade conforme as características específicas de cada localidade e ainda com possibilidade de grandes variações no mesmo local (Kalčíková et al 2012).

A mensuração do passivo ambiental precisa levar em consideração fatores como: a geologia do local, área total ocupada, compactação do solo, espessura da camada de resíduos, pluviosidade, existência de pontos de afloramento de lixiviado e de alagamento por águas pluviais, parâmetros físico-químicos do lixiviado, supressão vegetal, comportamento físico do biogás, tempo de atividade, mensuração da quantidade de resíduos, composição gravimétrica do RSU, quantidade de Resíduos Serviço de Saúde (RSS) e de Resíduos Perigosos, método de disposição, presença de pessoas ou animais nos arredores, proximidade de áreas de preservação e de corpos d'água (superficiais ou subterrâneos) (Ramos et al 2017).

Devido a isso, é indispensável a existência um monitoramento local e que medidas remediadoras sejam aplicadas, reduzindo o surgimento de novos impactos negativos e interrompendo a continuidade dos danos já causados e ainda evitando que essas áreas sejam apenas abandonadas sem tratamento ou fiquem ociosas (Leite 2005). Para Sánchez (2008), o processo de remediação é baseado na utilização de técnicas agregadas para contenção ou ainda remoção de contaminantes em áreas que foram degradadas com objetivo de reabilitação do local e viabilizando seu uso posterior. A remediação de áreas de antigos aterros controlados é de alta complexidade e demanda um conjunto de intervenções diversificadas (Yao et al 2012).

1.1 Composição e caracterização de lixiviado

O lixiviado é popularmente conhecido como chorume, sendo relatado como um líquido escuro e fétido, resultante da mistura de água com matéria orgânica dos resíduos em decomposição no aterro (Souto 2009). Sua carga e composição pode ser influenciada em razão de fatores como: condições hidrogeológicas; fenômenos climáticos como: regime pluviométrico, variações sazonais, umidade, temperatura; natureza e idade do RSU; estágio de decomposição da matéria orgânica, idade e modo de operação do aterro: disposição, espessura, compactação e cobertura das células, existência de drenagem de lixiviado e gases (Engelmann et al 2018; Di Iaconi et al 2006; Kjeldsen et al 2002).

A vista disso, trata-se de uma matriz complexa e variável, que pode conter alta carga poluidora, com metais pesados, compostos orgânicos e inorgânicos (Bernard et al 1997). A destinação inadequada desse material gera prejuízos de ordem ambiental, sanitária, estética e econômica (Maia 2012). Por escoar através dos resíduos dispostos e se acumular na base das áreas de disposição, é fundamental reconhecer o potencial poluidor do lixiviado bem como assegurar seu tratamento para proteção e mitigação de impactos em águas superficiais e subterrâneas, bem como o solo (Mahmud et al 2012; Bhatt et al 2017).

Por ser considerado um efluente com forte potencial poluidor, o lixiviado oriundo de aterros somente poderá ser diretamente descartado e no ambiente ou em corpos d'água no corpo receptor desde que obedeça às condições previstas e padrões que estão dispostos (Almeida 2017). Caso o lixiviado alcance corpos d'água superficiais ou subterrâneos, ocasiona no comprometimento no uso dessas fontes devido aos riscos à saúde humana e animal (Sisino 2002; Marcos et al 2015).

A percolação de lixiviado ocorre de maneira difusa, não sendo possível determinar com exatidão o grau de contaminação gerado (Engelmann et al 2018; Del Rey 2020). Sabe-se que águas superficiais e subterrâneas são interligadas na maioria dos casos, pois ocorrem situações em que as águas de superfície contaminadas proporcionam a recarga de reservatórios subterrâneos assim como águas subterrâneas descarregam em águas superficiais, causando poluição tanto dos aquíferos quanto dos corpos hídricos superficiais (Freire 2009).

Ao lado da preocupação com o meio ambiente, há a preocupação com os possíveis efeitos da poluição causada pelo lixiviado sobre a saúde humana. Produtos tóxicos e resíduos oriundos de serviços de saúde (RSS) contendo substâncias cancerígenas e microrganismos patogênicos podem estar presentes no lixiviado (Gajski et al 2012). Somado isto à alta toxicidade de alguns de seus componentes. O contato com o material pode implicar em: intoxicações; genotoxicidade; distúrbios neurológicos, reprodutivos e respiratórios,



cardiopatias; doenças crônico-degenerativas e hepáticas (Habermann & Gouveia 2014). Eggen et al. (2010) identificou produtos químicos perigosos presentes em lixiviados como: plastificante de neurotoxina, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e retardante de chamas (todos carcinogênicos), repelente de insetos, produtos de cuidados pessoais e farmacêuticos como ibuprofeno, cafeína e naproxeno.

A caracterização da composição do lixiviado e a análise de seus parâmetros físico-químicos fornecem informações importantes para sua gestão adequada, toxicidade, volume de recursos a serem empregados na remediação. Contudo, essas informações não são suficientes para determinar seu potencial poluidor e requer uma série de avaliações multidisciplinares do local em razão da especificidade de cada área (Žaltauskaitė & Vaitonyte 2016).

Conforme descrito Christensen et al (2001), os tipos mais comuns de aterros, aqueles que contêm uma mistura de resíduos de origem residencial, comercial e industrial, com exceção de resíduos químicos, produzem lixiviados que podem ser caracterizados em quatro grupos de poluentes:

- Matéria orgânica dissolvida evidenciada pela Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Carbono Orgânico Dissolvido (COD) e Carbono Orgânico Total (COT);
- Macropoluentes inorgânicos como cálcio, magnésio, fósforo (na forma de fosfatos), ferro, manganês, amônia, sulfatos e carbonatos;
- Metais pesados como arsênio, alumínio, cádmio, cromo, níquel, cobre, zinco, mercúrio, prata, chumbo, cobalto;
- Compostos orgânicos xenofóbicos como metanos, etanos, fenóis, pesticidas, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e voláteis, além de produtos de origem farmacêutica e hormônios.

Os dados até hoje disponíveis, bem como aqueles resultantes de modelagens, indicam que, na maioria dos casos, metais e compostos xenobióticos não constituem problema a longo prazo. Por outro lado, os estudos mostram que o nitrogênio amoniacal deve ser o principal responsável pela toxicidade aguda do lixiviado (Souto 2009; Maia et al 2015).

Ao longo da vida de um aterro e com o estágio de decomposição da matéria orgânica, o volume e as características (físico-químicas e/ ou microbiológicas) do lixiviado produzido sofrem fortes variações. A degradação da matéria orgânica em aterros ocorre primeiramente de forma aeróbica culminando na forma anaeróbia, sendo essa última a mais longa (Monteiro 2003). O final do processo de degradação anaeróbia, conhecido como fase metanogênica caracterizada pela produção de metano (Christensen et al 2001; Kjeldsen et al 2002). As variações das características do lixiviado também ocorrem de acordo com a idade do aterro e fase de decomposição dos resíduos. A produção de biogás também é diferenciada em aterros com tempo de operação diferentes (Moody & Townsend 2017; Kjeldsen et al 2002; Wimmer et al 2013).

Diante disso, o lixiviado proveniente de um aterro mais antigo é bem distinto daquele de um aterro com menor tempo de operação (Renou et al 2008). À vista disso, o lixiviado proveniente de aterros mais jovens possuem alta biodegradabilidade e maior concentração de matéria orgânica (MO) (Barros 2013). O envelhecimento dos aterros e os estágios ou fases de estabilização do lixiviado interferem na eficiência dos tratamentos que forem sugeridos posteriormente (Jones et al 2006).

1.2 Fitorremediação

Neste cenário alarmante, o uso de tecnologias convencionais para remediação nestas áreas de aterro apresentou limitações expressivas: algumas não são práticas ambientalmente corretas, muitas vezes dependem de alto volume de mão de obra, possuem barreiras técnicas de implementação *in situ*, muitas vezes técnicas destrutivas e possuem um alto custo (Meuser 2013). Os avanços tecnológicos nos diversos setores, como o da biotecnologia, fomentaram o desenvolvimento de novas ferramentas que podem servir como técnicas agregadas (Silva et al 2014).

A busca por novas técnicas ambientalmente sustentáveis ganhou maior destaque mundialmente, principalmente as alternativas que relacionam o uso de plantas e microorganismos para fins de remediação (Gaylardee et al. 2005). Isto porque as práticas de remediação tradicionais comumente adotadas demandam elevados investimentos, que se estendem por longos períodos, e podem implicar impactos secundários (Schianetz 1999).

A fitorremediação utiliza espécies vegetais e sua microbiota associada, e destacou-se sobretudo por ser uma tecnologia de baixo custo, sustentável, *eco-friendly*, pode ser aplicada em grandes áreas, não necessita de muita mão de obra, de fácil implementação,



amplamente aceita, não é restrita a um grupo específico de espécies vegetais, pode ajudar na proteção de biomas, possui baixo risco, além dos benefícios socioeconômicos que sua utilização pode agregar a comunidades próximas (Nascimento & Xing 2006). Além disso, a remediação *plant-based* ocorre tanto no solo contaminada quanto nos corpos hídricos afetados pelos poluentes do lixiviado (Cunningham et al 1997).

A técnica pode ser dividida em cinco categorias e a escolha de qual estratégia a ser utilizada deve levar em consideração a natureza química ou das propriedades do poluente como pode ser observado no Quadro 1. Assim sendo, as espécies vegetais fitorremediadoras possuem respostas diferenciadas, realizando a remediação ou atenuação de contaminantes por meio de estratégias como: fitoextração, fitodegradação, fitoestabilização, fitovolatilização e rizofiltração (Santos & Novak 2013).

Quadro 1 - Estratégias e descrição da fitorremediação.

Estratégia	Descrição
Fitoextração	Absorção e armazenamento de poluentes pelas raízes, folhas e caule
Fitodegradação	Atividade metabólica da planta e biológica da rizosfera degradam ou quebram os poluentes
Fitoestabilização	A rizosfera estabiliza e/ou limita a biodisponibilidade do poluente, evitando processos erosivos e lixiviação
Fitovolatilização	A atividade metabólica da planta faz a conversão de poluentes a compostos voláteis, liberando-os na atmosfera, geralmente pelas folhas
Rizofiltração	A rizosfera utiliza-se de recursos como: retenção, adsorção ou precipitação para acumular ou imobilizar poluentes

Fonte: Autores, 2020

As espécies vegetais que são foco dessa técnica possuem especificidades bem determinadas, como boa capacidade de absorção, taxas de crescimento elevadas, sistema radicular denso e profundo, alta taxa de exsudação radicular, microbiota associada, resistência a pragas, fácil manejo e ainda alta resistência a contaminantes (hiperacumuladoras) (Coutinho & Barbosa 2007).

No trabalho de Oliveira et al (2009), a fitorremediação em áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos ocorre de maneira facilitada, isto porque o lixiviado presente em aterros possui características interessantes para o desenvolvimento e crescimento de plantas. As espécies vegetais selecionadas precisam ser altamente resistentes (portanto, baixa sensibilidade) e especializadas, pois o volume de contaminantes presentes nesses locais é muito elevado e diverso. Os autores salientam que para tratar lixiviado com a técnica, a toxicidade do material deve ser bem avaliada visto que interfere diretamente no desenvolvimento inicial da raiz e da parte aérea, que são fundamentais para a sobrevivência da planta (Larcher 1995).

O uso dessa tecnologia apresenta outros benefícios diretos nas áreas dos aterros, entre eles estão a melhora estética, atenuação dos odores emitidos, utilização da área para a construção de parques de uso público, valorização econômica da área e das regiões vizinhas, promoção da sustentabilidade, produção de biomassa para fins econômicos (como madeira), elevação no sequestro de carbono devido ao aumento da cobertura vegetal, viabilidade de produção energética, melhora nos quesitos de qualidade do solo e fomento da conservação da biodiversidade (Luiz & Hirata 2018; Pandey & Bajpai 2019; Pandey et al 2016; Rufo & Picanço 2005).

Pires et al (2003) ainda salientou outras características benéficas no uso da técnica, frisando seu menor custo, degradação de compostos orgânicos facilitada, fixação de nitrogênio atmosférico, fácil monitoramento das espécies plantadas, controle de erosões, reduz a mobilidade da pluma de contaminantes e ainda possui uma boa aceitação pública.



Se isolada, a fitorremediação apresenta limitações, como: alta concentração de contaminantes produzir uma ação tóxica em diversas espécies vegetais; o processo pode ser lento e incompleto; condições edafoclimáticas; ciclo de vida da espécie utilizada; tratamento adequado da biomassa com acúmulo de poluentes; eficiência limitada a zona de interferência da rizosfera e ainda o risco que a utilização de plantas de transgênicas oferece a biodiversidade se não manejada adequadamente (Glass 1999).

2. Metodologia

2.1. Coleta de dados

Para este trabalho realizou-se uma revisão de literatura de artigos científicos nacionais e internacionais indexados na base de dados da Principal Coleção do *Web of Science*. Foram selecionados todos os artigos continham a palavra “*Phytoremediation*” no título, resumo ou na lista de palavras-chaves no período de 2005 até 2020. Em associação ao termo de busca “*Phytoremediation*” foram utilizados os termos AND “*landfill leachate*”, visando a exclusão de ambientes não se queria na pesquisa acima. Em cada artigo foram coletadas as seguintes informações: o ano de publicação, país da instituição do primeiro autor, número de citações, número de autores, nome das revistas e palavras-chaves.

2.2. Análise de dados

A relação temporal dos artigos acerca da fitorremediação para tratamento de lixiviado de aterros, correlacionou o volume de artigos publicados ao ano de publicação. Para verificação de qualidade das publicações na temática, foi avaliado o fator de impacto das revistas com maior número de publicações. A análise de relevância verificou os 15 artigos mais citados. Em cada artigo, as espécies vegetais selecionadas para fitorremediação foram listadas e separadas de acordo com suas famílias botânicas, bem como os respectivos poluentes tratados. As 10 plantas que apareceram em um maior número de trabalhos foram conservadas e os poluentes separados em grandes grupos.

3. Resultados e Discussão

A desativação de aterros controlados e lixões determinados por leis, como no caso brasileiro com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305/2010 (Brasil 2010), a necessidade de remediação dos impactos ambientais ganhou maior enfoque nos últimos anos, além de ser muito discutida no meio científico. Com isso em mente, a comunidade acadêmica apontou alguns grupos vegetais com forte potencial fitorremediador no tratamento de lixiviado. Alguns desses trabalhos, apresentados a seguir, demonstram quais são essas espécies e os respectivos poluentes alvo da técnica.

Nessa revisão bibliográfica, foram coletados 98 artigos que tratam sobre a fitorremediação em lixiviado de aterros no período de 2005 a 2020 na Principal Coleção do *Web of Science*. No período analisado, entre 2005 e 2020, foi observada uma tendência de positiva no número de artigos publicados (Figura 1). Essa tendência era esperada, tendo em vista o desenvolvimento de novas ferramentas remediadoras mais sustentáveis e os avanços biotecnológicos (Silva et al 2014; Pandey & Bajpai 2019). Entretanto, o número de publicações, com a aplicação do filtro AND “*landfill leachate*”, expõe uma diferença significativa se comparada a revisão bibliográfica realizada por Silva (2016) na mesma base de dados. Os dados do trabalho apontados pelo autor revelam um total de 5913 artigos apenas sobre a temática da fitorremediação, sem os filtros de pesquisa, com uma média de 268 publicações por ano, no período de 1991 a 2014. Essa diferença revela que a fitorremediação apesar de ser uma técnica altamente versátil, boa parte dos estudos se restringem a grupos específicos de contaminantes como hidrocarbonetos de petróleo, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, bifênol policlorados, pesticidas, explosivos e metais pesados tratados individualmente, não em uma única matriz para tratamento.

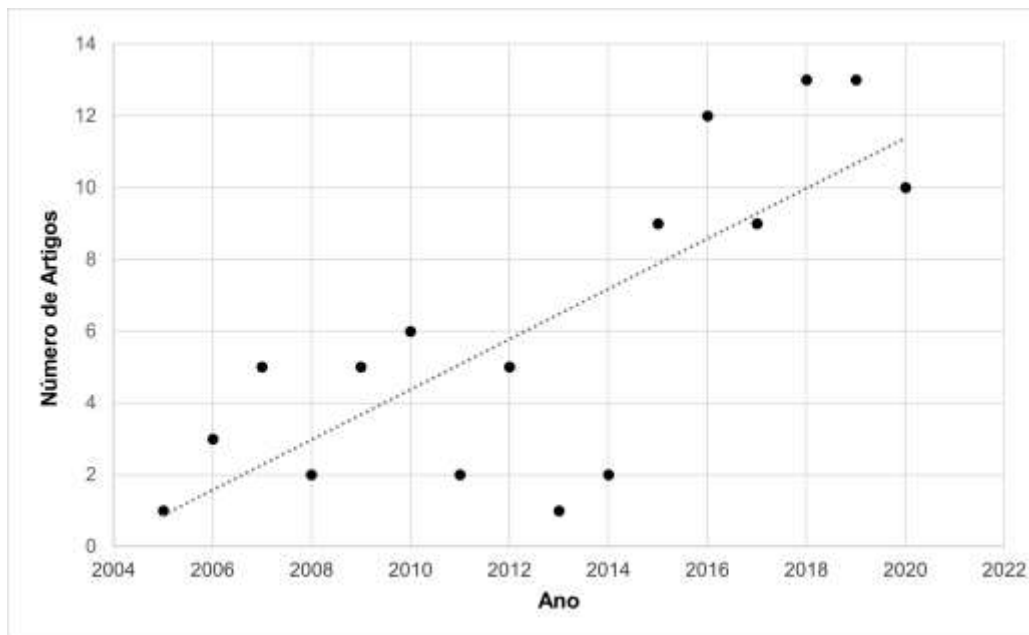


Figura 1. Número de artigos publicados na base de dados da Principal Coleção do Web of Science no período de 2005 até 2020. Fonte: Autoria própria.

Entre os países com maior produção de artigos, os EUA se ocupam o primeiro lugar (Tabela 1). Isso se dá principalmente pelo alto investimento local em pesquisa, não somente na área (May 1998). Uma outra possível explicação para esse fato, é que os dois primeiros países que mais produzem artigos, EUA e China, são também os dois primeiros países com maiores emissões de CO_2 (IPCC, 2007).

Tabela 1 - Países com maior número de publicações no período de 2005 a 2020.

País	Publicações
Estados Unidos	14
China	9
Brasil	8
Polônia	8
Itália	6
Malásia	6

Fonte: Autoria própria.

Alguns autores aparecem com maior número de publicações, conforme síntese da Figura 2. Mesmo que muitos desses trabalhos sejam realizados de maneira colaborativa, ou seja, com mais de dois autores, o fator humano não é o único envolvido, já que também associa instituições e suas diversificadas estruturas, além de recursos financeiros (Hsu & Huang 2011). Ronald S. Zalesny se destaca por apresentar 13 publicações, todas colaborativas com pelo menos mais um autor, no período avaliado.

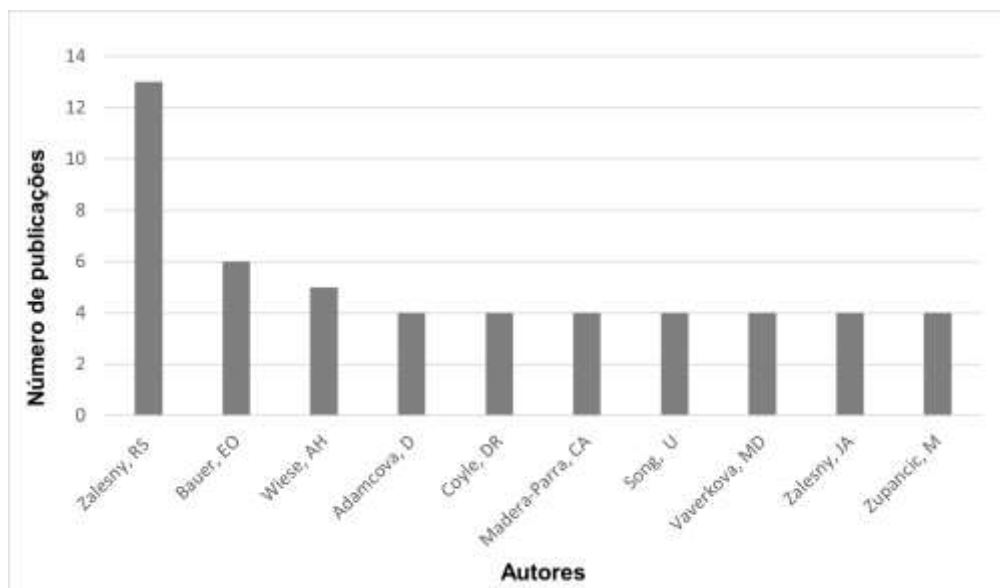


Figura 2. Autores com mais publicações em revistas no período de 2005 a 2020. Fonte: Autoria própria.

Os quinze trabalhos com maior número de citações variaram entre 100 a 34 como observado na Figura 3. A alta frequência de citações de um trabalho é considerada como um critério de avaliação, apontando a relevância do estudo bem como a qualidade científica do trabalho publicado (Leimu & Koricheva 2005). Esses trabalhos destacados, todos foram produzidos por dois ou mais autores.

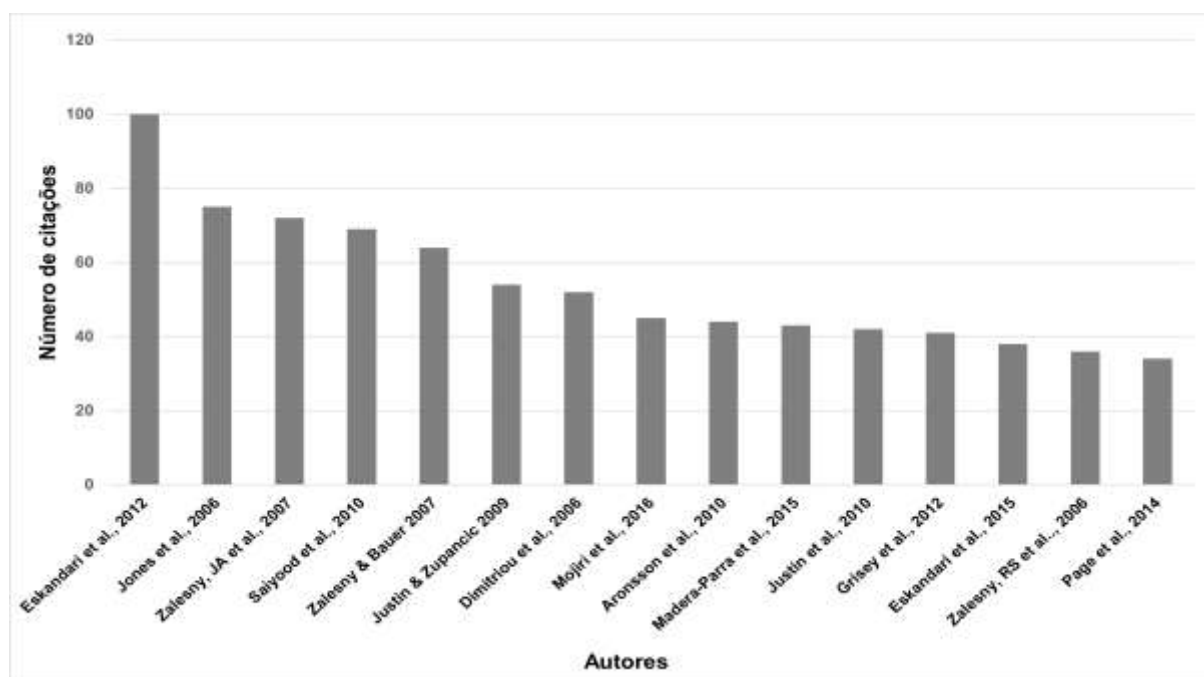


Figura 3. Relação dos artigos com maior número de citações sobre fitorremediação em lixiviado de aterro. Fonte: Autoria própria.

Devido ao grande número de citações (100 citações), o trabalho de Eskandari et al (2012) tratou de uma análise múltiplos critérios para instalação de um aterro, relacionando as dimensões ambiental, econômica e sociocultural. Nesse sentido, foram avaliadas as medidas de monitoramento e tratamento de lixiviado e a inserção da fitorremediação como medida não apenas remediadora, mas também como alternativa para se evitar maiores impactos ambientais e sociais.

O trabalho de Jones et al (2006), foi o segundo artigo mais citado (75 citações). Os autores apresentaram uma discussão em torno dos modelos fitorremediadores para tratamento de lixiviado e quais eram as lacunas nos modelos de gestão do processo. Segundo o estudo, casos de aplicação da técnica em culturas de rotação de ciclo curto e gramíneas apresentaram sucesso, contudo, outros vários casos não foram bem sucedidos. Os autores afirmam que para esses casos de insucesso, variáveis como a quantidade de lixiviado utilizado



foi excessiva, ou não houve uma gestão efetiva do local ou ainda alguma lacuna de conhecimento na relação da planta selecionada e com o solo. Afirmam ainda, que outros estudos se mostraram necessários para compreender e estabelecer modelos de remediação cuidadosamente geridos, de longo prazo e com contínuo monitoramento ambiental.

Os artigos foram publicados em 53 revistas, que possuíam fator de impacto (FI) que variaram de 0,325 (Asian Journal of Chemistry) e 9,13 (Water Research), e 6 revistas não possuíam FI. O fator de impacto representa um indicador importante na avaliação da qualidade da produção científica em cada revista e pode variar de acordo com a categoria que o periódico se enquadra (Strehl & Santos 2002).

A Figura 4 apresenta as 13 revistas com maior número de publicações, a International Journal of Phytoremediation, lançada em 1999, possui o maior número de publicações, 15 no total, com 2,58 de FI. A revista Journal of Environmental Biology possui o menor número de publicações, apenas 2 e o menor FI (0,781). A média entre o fator de impacto dessas revistas foi de 3,255.

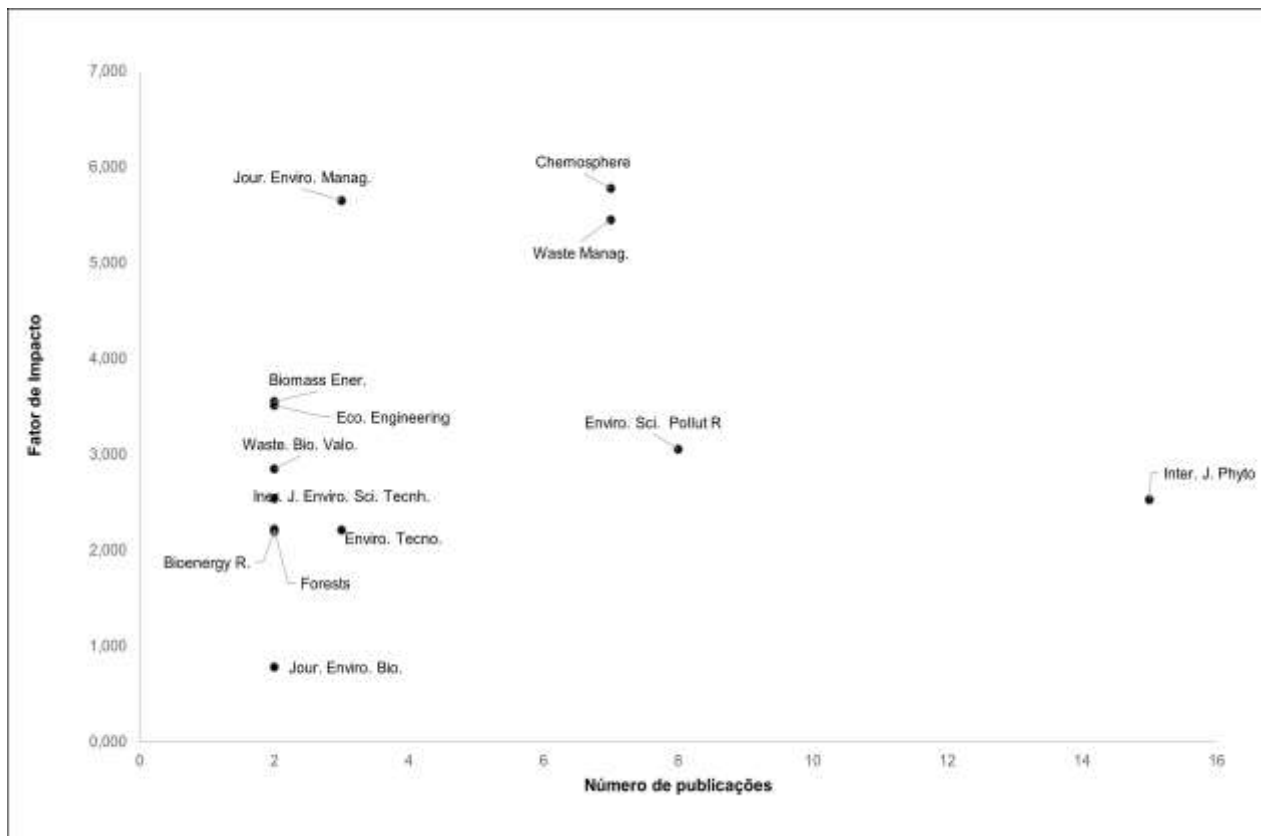


Figura 4. Relação do Fator de Impacto e o número de artigos das 13 revistas que mais publicaram sobre fitorremediação. Fonte: Autoria própria.

Foram identificadas 138 espécies vegetais nos 98 artigos analisados, muitas aparecem mais de 4 trabalhos. Para sintetizar essas informações, foram mantidos os gêneros relatados com maior frequência (Figura 5), destacando os gêneros *Salix* sp (15), *Populus* sp. (14) e *Typha* sp. (12). Os gêneros *Salix* e *Populus*, pertencem a à família Salicaceae, que pode ser caracterizada por formas arbóreas e arbustivas, comumente utilizadas na produção de madeira, restauração de corpos d'água e ainda como plantas ornamentais (Moura 2002). Os gêneros destacados apresentaram bons resultados na fitorremediação de lixiviado em análises de coloração, turbidez, pH, condutividade elétrica, redução de sólidos totais dissolvidos e de sólidos suspensos, redução da disponibilidade amônia, metais pesados, cloreto de sódio, sulfatos, nitrogênio amoniacal, redução da demanda química de oxigênio e da demanda bioquímica de oxigênio.

As espécies de *Populus* como: *P. deltoides*, *P. nigra*, *P. maximowiczii* e *P. trichocarpa*, são muito relatadas na descontaminação de áreas contaminadas por pesticidas e na produção madeireira e de fibras. Já as espécies do gênero *Salix*, como *Salix viminalis*, *Salix purpurea* e *Salix alba*, se destacam pela associação facilitada com microrganismos na região das raízes, que contribuem fortemente na descontaminação de solos contaminados por metais pesados e hidrocarbonetos.

Diversos trabalhos de Zalesny e colaboradores, abordam as espécies do gênero *Populus* sp. para fitorremediação, utilizando lixiviado de aterro como fontes fertilização e de irrigação. O gênero foi selecionado devido alta capacidade de desenvolver clones, focando em



quesitos de engenharia genética. Os autores enfatizam os cruzamentos das espécies *P. deltoides*, *P. nigra*, *P. maximowiczii* e *P. trichocarpa*, apresentam melhorias significativas para usos como: produção de fibras e madeira, bioenergia, e ainda para fitorremediação (Zalesny et al 2005). O desenvolvimento e triagem de diferentes tipos de clones visa selecionar as melhores características de cada espécie, especialmente a capacidade e rapidez de estabelecimento, maior produção de biomassa, rizosfera profunda e bem desenvolvida, taxas elevadas de evapotranspiração e propagação facilitada.

A Tabela 2 apresenta as informações detalhadas das revistas, para melhor visualização.

Tabela 2. Nome completo das revistas, número de publicações e FI.

Revistas	Nº de publicações	Fator de Impacto
International Journal of Phytoremediation	15	2,528
Environmental Science and Pollution Research	8	3,056
Chemosphere	7	5,778
Waste Management	7	5,448
Environmental Technology	3	2,213
Journal of Environmental Management	3	5,647
Bioenergy Research	2	2,195
Biomass Bioenergy	2	3,551
Ecological Engineering	2	3,512
Forests	2	2,221
International Journal of Environmental Science and Technology	2	2,540
Journal of Environmental Biology	2	0,781
Waste and Biomass Valorization	2	2,851

Fonte: Autoria própria.

Especificamente para fitorremediação, são necessários testes com os genótipos de interesse, tendo em vista que para obter maior eficiência é fundamental a identificação e seleção das plantas com melhor desempenho na presença de poluentes variados, possibilitando ainda a seleção de cruzamentos que facilitem a remediação de locais com maior concentração e toxicidade de contaminantes. Os estudos apontaram ainda o sucesso de três clones na remediação de cloreto e sódio, apresentando ainda aumento na produção de biomassa.

Outros trabalhos abordaram clones de *Populus deltoides*, *Salix viminalis* e *Salix purpúrea*, irrigados com lixiviado de aterro. No experimento de Justin et al (2010), as espécies que receberam o tratamento de irrigação com lixiviado apresentaram incremento na produção de biomassa nas partes aéreas, evidenciando ainda que os clones de *Populus* apresentaram melhores resultados nesse mesmo tratamento, com altas taxas de bioacumulação de contaminantes nas folhas e elevada produção de biomassa, em relação aos clones de *Salix*.

Especificamente para fitorremediação, são necessários testes com os genótipos de interesse, tendo em vista que para obter maior eficiência é fundamental a identificação e seleção das plantas com melhor desempenho na presença de poluentes variados, possibilitando ainda a seleção de cruzamentos que facilitem a remediação de locais com maior concentração e toxicidade de contaminantes. Os estudos apontaram ainda o sucesso de três clones na remediação de cloreto e sódio, apresentando ainda aumento na produção de biomassa.

Outros trabalhos abordaram clones de *Populus deltoides*, *Salix viminalis* e *Salix purpúrea*, irrigados com lixiviado de aterro. No experimento de Justin et al (2010), as espécies que receberam o tratamento de irrigação com lixiviado apresentaram incremento na produção de biomassa nas partes aéreas, evidenciando ainda que os clones de *Populus* apresentaram melhores resultados nesse mesmo tratamento, com altas taxas de bioacumulação de contaminantes nas folhas e elevada produção de biomassa, em relação aos clones de *Salix*.

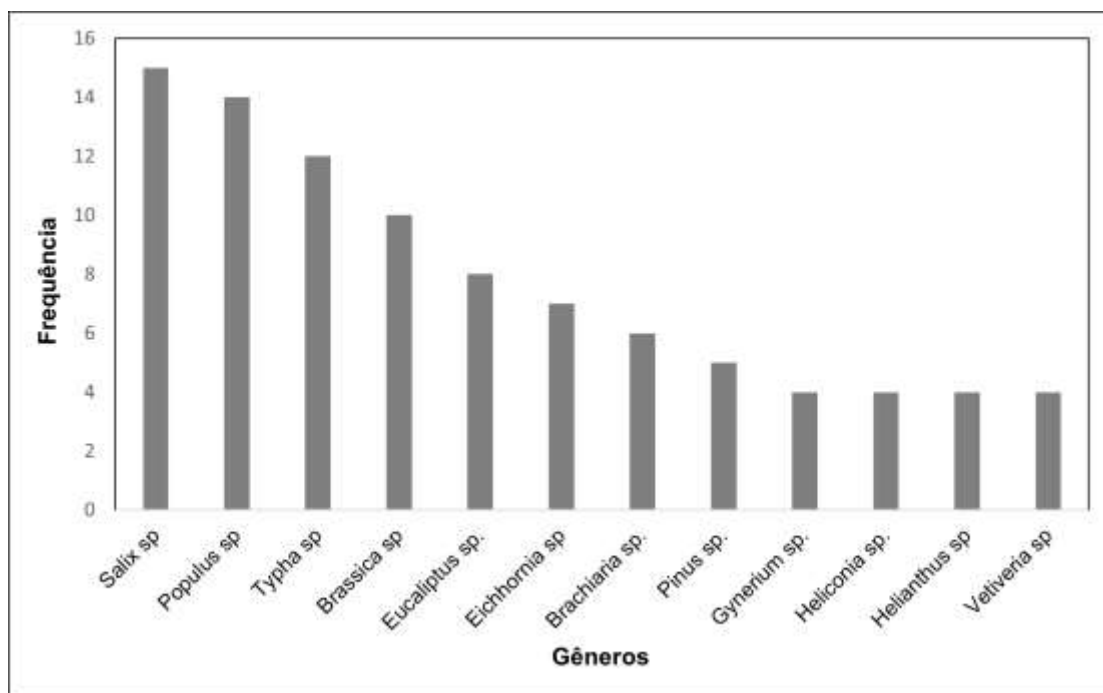


Figura 5 - Frequência dos gêneros botânicos mais abordados nos artigos. Fonte: Autoria própria.

Granley e Troung (2012) realizaram outro estudo, nos Estados Unidos, com cerca de 2100 plantas de híbridos de *Populus*, irrigadas com lixiviado por um sistema de gotejamento por um ano. Os resultados obtidos foram tão satisfatórios que as plantas obtiveram sucesso de estabelecimento em uma área de 5,5 acres e utilizaram (e trataram) o correspondente a 14 milhões de galões de lixiviado. O trabalho entrou na lista dos 25 melhores prêmios de engenharia do American Council of Engineering Companies em 2009.

Diversas espécies de macrófitas também aparecem nos artigos pesquisados, especialmente no tratamento de lixiviado em sistemas de *wetlands*. Amorim et al (2018) avaliou o desempenho de macrófitas das espécies *Echinochloa polystachya* e *Eichhornia crassipes* no sistema citado, por meio de análises pós-tratamento em amostras do lixiviado, do substrato do sistema e de biomassa das macrófitas. Os resultados demonstraram redução de 30% para DBO, 72% para DQO, 76% para fósforo inorgânico e total, 38% para nitrato, 33% para nitrito, 58% para nitrogênio amoniacal, 44% para nitrogênio orgânico e 13% para zinco. Todavia, salienta-se que esse tipo de tratamento ocorre em um sistema controlado, mas que recebendo os devidos ajustes, é passível de ser aplicado sem o controle de todas as variáveis.

As espécies *Chrysopogon zizanioides* e *Typha latifolia*, também são muito relatadas e o estudo de Ramos-Arcos et al (2019) expôs a eficiência das espécies em absorver 17 tipologias de metais pesados (alumínio, boro, bário, berílio, cobalto, cromo, ferro, magnésio, manganês, níquel, chumbo, enxofre, selênio, tálio, vanádio e zinco) diretamente de lixiviado de aterro (sem diluições).

No Brasil, o trabalho de Kurscheidt et al (2020) avaliou as espécies de macrófitas *Pistia stratiotes* e *Eichhornia crassipes* na fitorremediação em lixiviado oriundo do Aterro Sanitário de Curitiba (Aterro da Caximba) também em sistema de *wetlands*, conduzido *ex-situ*. Foram realizados testes de tolerância das espécies em diferentes diluições de lixiviado e um tratamento controle. Entretanto, as espécies apresentaram eficiência reduzida e comprometimento de desenvolvimento, mesmo em baixas concentrações de lixiviado, apontando a forte fitotoxicidade na composição do material.

Nesse sentido, as espécies mais relatadas nos estudos apresentando para fitorremediação de lixiviado são, de forma geral, conhecidas e seus aspectos como ecologia, genética, manejo e fisiologia são amplamente difundidos. Esses conhecimentos fazem parte da seleção de plantas para os projetos fitorremediadores (Bhargava et al 2012). Informações desse tipo, ampliam o entendimento em torno da técnica e suas especificidades na utilização das plantas fitorremediadoras, sendo necessária compreensão sobre as taxas de crescimento e evapotranspiração, alta produção de biomassa, boa tolerância a poluentes e forte competitividade (Lamego & Vidal 2008).

Além disso, fatores como: alta taxa de exsudação radicular, forte resistência a doenças e pragas, associação facilitada com microrganismos, fácil aquisição e manejo, sistema radicular denso e profundo, e propagação facilitada também devem ser considerados



na seleção das espécies vegetais a serem utilizadas e para garantir maior eficiência no tratamento (Procópio et al 2009). Se aplicadas em consórcio com outras culturas, diversas plantas exibem maior produção de biomassa, colaborando na extração de metais (Zhu et al 2010).

Um estudo realizado por Pandey e Bajpai (2019) expôs alguns aspectos práticos de implementação da fitorremediação, bem como os progressos já alcançados na área e os pontos mais sensíveis da técnica. Levando ainda em consideração as lacunas existentes no uso dessa tecnologia, introduzindo termos como “*phytomanagement*”. De acordo com os autores, trata-se da aplicação da fitorremediação sustentável. Um dos entraves discutidos acerca da técnica é o longo período em que a área remediada fica restrita e impossibilitada de outras formas de uso. A *Phytomanagement* é definida como uma técnica de remediação que se utiliza de espécies vegetais para controlar e/ou reduzir riscos e impactos ambientais, e ainda agrega valor econômico ao processo. Em síntese, uma área contaminada pode estar em processo de remediação e ao mesmo tempo a produção de biomassa resultante pode ter valor de mercado, apresentando então importantes benefícios ecológicos, econômicos e sociais.

4. Conclusão

O crescimento no montante de estudos sobre a fitorremediação para tratamento de lixiviado de aterro pode estar relacionado a maior disseminação da técnica, não ligada exclusivamente para lixiviado, mas para remediação de contaminantes diversos. Do mesmo modo, o fato da técnica relacionar diversas áreas do conhecimento também pode ser outro fator para esse crescimento. Nesse sentido, a utilização da fitorremediação apresenta potencial elevado para tratamento de contaminações diversas, inclusive de lixiviado proveniente de aterros. Entretanto, a maior parte dos trabalhos tratam de poluentes como: derivados de petróleo, pesticidas e herbicidas, explosivos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, bifenil policlorados e metais pesados (elementos poucos variados).

Somado a isso, a diversidade de plantas abordadas na literatura acadêmica é reduzida, apesar à alta diversidade de espécies existentes. Poucas espécies nativas são relatadas, mesmo possuindo alto potencial fitorremediador. Muitos estudos tratam de espécies chamadas de exóticas e invasoras, o que pode apresentar riscos secundários as áreas tratadas.

Determinadas práticas melhoram a eficiência da técnica, como: seleção de espécies diversas para testes de tolerância e de variedades de poluentes; entendimento amplo sobre os mecanismos internos envolvidos na transformação do contaminante na planta e diversificação dos métodos pós-colheita, evitando assim a geração de novos impactos relacionados aos metabólitos produzidos e que se acumulam no corpo vegetal. A maioria dos trabalhos analisados realizaram os testes e tratamentos com a técnica fitorremediadora *in situ*, os que realizaram abordagens *ex situ* explicitam a necessidade de controle maior do ambiente de tratamento, o que pode ocasionar em maiores custos, apesar de melhorar a eficiência na remediação.

Todavia, os estudos apresentados neste trabalho reforçam a utilização da técnica para tratamento de lixiviados, agregando maior detalhamento dos casos e ainda abrangendo os benefícios esperados. A expansão dos benefícios da fitorremediação para as áreas econômicas e sociais, como a seleção de espécies com valor econômico, viabiliza produção energética posterior e todos os outros citados neste estudo.

Referências

- Almeida JR 2017. *Proposta de índice de avaliação de aterros de resíduos desativados a partir do potencial poluidor do lixiviado*. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 190 pp.
- Amorim AMPB, Cavalheiro TL, Preussler KH, Mickle EC, Cubas SA, Maranhão LT 2018. Eficiência de um sistema piloto utilizando áreas alagadas no pós-tratamento do lixiviado gerado no Aterro Sanitário de Curitiba, Curitiba, Paraná, Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 23(3):535-542.
- Barlaz MA, Rooker AP, Kjeldsen P, Gabr MA, Borden RC. 2002. Critical Evaluation of Factors Required to Terminate the Postclosure Monitoring Period at Solid Waste Landfills. *Environmental Science Technology* 36(16):3457-3464.
- Barros MJG 2013. *Utilização de Wetlands no Tratamento de Lixiviado de Aterros Sanitários*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 111 pp.
- Bastos VP 2015. O fim do lixão de Gramacho: além do risco ambiental. *O Social em Questão*, 33:265–288.
- Bernard C, Colin JR, Anne LDD 1997. Estimation of the hazard of landfills through toxicity testing of leachates. *Chemosphere* 35(11):2783-2796.



- Bhalla B, Saini MS, Jha MK 2012. Characterization of leachate from municipal solid waste (MSW) landfilling sites of Ludhiana, India: a comparative study. *International Journal of Engineering Research and Applications* 2(6):732-745.
- Bhargava, A., Carmona, F. F., Bhargava, M., & Srivastava, S 2012. Approaches for enhanced phytoextraction of heavy metals. *Journal of Environmental Management* 105:103–120.
- Bhatt AH, Karanjekar RV, Altouqi S, Sattler ML, Hossain MS, Chen VP 2017. Estimating landfill leachate BOD and COD based on rainfall, ambient temperature, and waste composition: Exploration of a MARS statistical approach. *Environmental Technology & Innovation* 8:1-16.
- Brasil 2010. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF.
- Campos HKT 2018. Como fechamos o segundo maior lixo do mundo. *Revista Brasileira de Planejamento e Orçamento* 8(2):204–253.
- Carneiro GA 2002. *Estudo de contaminação do lençol freático sob a área do aterro de lixo do Jockey Club - DF e suas adjacências*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 123 pp.
- Christensen TH, Kjeldsen P, Bjerg PL, Jensen DL, Christensen JB, Baun A, Albrechtsen HJ, Heron G 2001. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. *Applied Geochemistry* 16(7–8):659–718.
- Coutinho HD, Barbosa AR 2007. Fitorremediação: Considerações Gerais e Características de Utilização. *Silva Lusitana* 15(1):103–117.
- Cunningham SD, Shann JR, Crowley DE, Anderson TA 1997. Phytoremediation of Soil and Water Contaminants. In *ACS Symposium Series*, Washington, DC, 17pp.
- Del Rey GO 2020. *Metanogênese e Variações Isotópicas do Carbono em Ambiente de Deposição de Resíduos Sólidos: O Aterro Controlado do Jockey Club De Brasília – DF*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 95pp.
- Di Iaconi C, Ramadori R, Lopez A 2006. Combined biological and chemical degradation for treating a mature municipal landfill leachate. *Biochemical Engineering Journal* 31(2):118–124.
- Eggen T, Moeder M, Arukwe A 2010. Municipal landfill leachates: a significant source for new and emerging pollutants. *Science of the Total Environment* 408(21):5147-5157.
- El-fadel M, Findikakis AN, Leckie JO 1997. Environmental impacts of solid waste landfilling. *Journal of Environmental Management* 50(1):1–25.
- Engelmann PM, Santos VHJM, Barbieri CB, Augustin AH, Ketzer JMM, Rodrigues LF 2018. Environmental monitoring of a landfill area through the application of carbon stable isotopes, chemical parameters and multivariate analysis. *Waste Management* 76:591-605.
- Eskandari M, Homae M, Mahmoodi S, Pazira E, Van Genuchten MT 2015. Optimizing landfill site selection by using land classification maps. *Environmental Science and Pollution Research* 22(10):7754-7765.
- FREIRE GJM 2009. *Análise de municípios mineiros quanto à situação de seus lixões*. Belo Horizonte – MG. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 104 pp.
- Gajski G, Oreščanin V, Garaj-vrhovac V 2012. Chemical composition and genotoxicity assessment of sanitary landfill leachate from Rovinj, Croatia. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 78:253–259.
- Gaylarde CC, Bellinaso MDL, Manfio GP 2005. Biorremediação: Aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobióticos. *Biotechnologia Ciência & Desenvolvimento* 34:36-43.
- Glass DJ 1999. *U.S. and international markets for phytoremediation, 1999-2000*. Needham, Mass., D. Glass Associates, 266 pp.
- Granley BA, Truong PN 2012. A changing industry: on-site phytoremediation of landfill leachate using trees and grasses—case studies. *Global Waste Management Symposium* pp. 1-5.
- Habermann M, Gouveia N 2014. Requalificação urbana em áreas contaminadas na cidade de São Paulo. *Estudos avançados* 28(82):129–37.
- Hsu J, Huang D 2011. Correlation between impact and collaboration. *Scientometrics* 86(2):317-324.
- IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (2007). *Mudança do Clima 2007: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade*. Contribuição do Grupo de Trabalho II ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, 2007.
- Jones DL, Williamson KL, Owen AG 2006. Phytoremediation of landfill leachate. *Waste Management* 26(8):825–837.
- Justin MZ, Pajk N, Zupanc V, Zupancic M 2010. Phytoremediation of landfill leachate and compost wastewater by irrigation of Populus and Salix: Biomass and growth response. *Waste Management* 30(6):1032–1042.



- Kalčíková G, Zagorc-Končan J, Zupančič M, Gotvajn AŽ 2012. Variation of landfill leachate phytotoxicity due to landfill ageing. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* 87(9):1349-1353.
- Kjeldsen P, Barlaz MA, Rooker AP, Baun A, Ledin A, Christensen TH 2002. Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 32(4):297–336.
- Kurscheidt ECS, Cubas AS, Aisse MM, Maranhão LT 2020. Tolerância da *Pistia Stratiotes* e *Eichhornia Crassipes* ao lixiviado gerado em aterro sanitário. *Brazilian Journal of Development* 6(3):14909-14926.
- Lamego FP, Vidal RA 2008. Fitorremediação: Plantas como Agentes de Despoluição? *Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente* 17:9–18.
- Lanza, VCV 2009. Caderno Técnico de reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos. *Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente* 29pp.
- Larcher W 1995. *Physiological Plant Ecology*. Springer, Berlin, 506 pp.
- Leimu R, Koricheva J 2005. Does Scientific Collaboration Increase the Impact of Ecological Articles? *BioScience* (55)5:438.
- Leite TMC 2005. *Entraves espaciais: brownfields caracterizados por aterros de resíduos sólidos urbanos desativados no município de São Paulo - SP*. Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 130 pp.
- Luiz MB, Hirata R 2018. Eucalyremediação: Uma Nova Solução Baseada Na Natureza De Limpeza De Aquíferos Urbanos Contaminados. *Águas Subterrâneas*, pp 1–4.
- Mahmud K, Hossain MD, Shams S 2012. Different treatment strategies for highly polluted landfill leachate in developing countries. *Waste Management* 32(11):2096-2105.
- Maia IS, Restrepo JJB, Castilhos AB, Franco, D 2015. Avaliação do tratamento biológico de lixiviado de aterro sanitário em escala real na Região Sul do Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* 20(4):665-675.
- Maia LS 2012. *Uso de carvão ativado em pó no tratamento biológico de lixiviado de aterros de resíduos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 177 pp.
- Marcos J, de Alencar S, Borges WR, de França PHP, Gaudêncio GMDMF 2015. Análise de arranjos eletrodicos na caracterização da pluma de contaminação do aterro controlado do Jockey Clube de Brasília-DF. In *14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF*, pp. 248-253.
- May RM 1998. Science Priorities: The Scientific Investments of Nations. *Science* 281(5373):49–51.
- Meuser H 2012. *Soil remediation and rehabilitation: treatment of contaminated and disturbed land*. Vol XXIII, Springer Science & Business Media, 387 pp.
- Moody CM, Townsend TG 2017. A comparison of landfill leachates based on waste composition. *Waste Management* 63:267–274.
- Motta EFB, Almeida JR, Mahler CF 2019. Monitoramento e cuidados no período pós-fechamento de aterros de resíduos sólidos urbanos. *IX Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental e VIII Congresso Brasileiro de Geossintéticos*.
- Moura VPG 2002. Introdução de Novas Espécies de *Salix* (Salicaceae) no Planalto Sul de Santa Catarina, Brasil. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF n°71.
- Nascimento CWA, Xing B 2006. Phytoextraction: A review on enhanced metal availability and plant accumulation. *Scientia Agricola* 63(3):299–311.
- Oliveira DL, Rocha C, Moreira PC, Moreira SOL 2009. Plantas nativas do cerrado uma alternativa para fitorremediação. *Estudos* 36(11/12):1141–1159.
- Pandey VC, Bajpai O 2019. Phytoremediation: from theory toward practice. In: *Phytomanagement of Polluted Sites*. Elsevier, p. 1-49.
- Pandey VC, Bajpai O, Singh N 2016. Energy crops in sustainable phytoremediation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 58-73.
- Pires F, Souza C, Silva A, Procópio S, Ferreira L 2003. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. *Planta daninha* 21(2):335-341.
- Procópio SO, Pires FR, Santos JB, SILVA A A 2009. Fitorremediação de Solos com Resíduos de Herbicidas. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 32pp.
- Ramos NF, Gomes JC, Castilhos Jr AB, Gourdon R 2017. Desenvolvimento de ferramenta para diagnóstico ambiental de lixões de resíduos sólidos urbanos no Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 22(6):1233-1241.
- Ramos-Arcos SA, López-Martínez S, Rivera SL, González-Mondragón, EG, De La Cruz MCL, Velázquez-Martínez JR 2019. Phytoremediation of landfill leachate using vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) and cattail (*Typha latifolia*). *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2):2619-2630.
- Renou S, Givaudan JG, Poulain S, Dirassouyan F, Moulin P 2008. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of hazardous materials* 150(3):468-493.



- Rufo RC, Picanço AP 2005. Avaliação de impactos ambientais e proposta de remediação do lixão do município de Porto Nacional - TO. *23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental III-154*. Anais...Campo Grande.
- Sánchez LE 2008. Avaliação ambiental estratégica e sua aplicação no Brasil. *São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo* 21pp.
- Santos CF, Novak E 2013. Plantas nativas do cerrado e possibilidades em fitorremediação. *Revista de Ciências Ambientais* 7(1):67-78.
- Scharff H, Van Zomeren A, Van Der Sloot HA 2011. Landfill sustainability and aftercare completion criteria. *Waste Management & Research* 29(1):30-40.
- Schianetz B 1999. *Passivos Ambientais: Levantamento Histórico, avaliação da periculosidade, ações de recuperação*. SENAI, Embrapa Trigo, 200pp.
- Silva EC 2016. *Uma síntese dos estudos com fitorremediação nos últimos anos (1991-2014)*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 40pp.
- Silva F, Cervieri L 2015. Tratamento de resíduos sólidos: uma grande contribuição para o meio ambiente. *Revista Maiêutica* 3(1):41-47.
- Silva JDS, Santos SS, Gomes FGG 2014. A biotecnologia como estratégias de reversão de áreas contaminadas por resíduos sólidos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental* 18(4):1361-1370.
- Simonetto EO, löbler, ML. Simulação baseada em System Dynamics para avaliação de cenários sobre geração e disposição de resíduos sólidos urbanos. *Production* 24(1):212-224.
- Sisino CLS 2002. *Destino dos resíduos sólidos urbanos e industriais no estado do Rio de Janeiro: avaliação da toxicidade dos resíduos e suas implicações para o ambiente e para a saúde humana*. Tese de Doutorado, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 102 pp.
- Souto GDB 2009. *Sanitary landfill leachate in Brazil – evaluation of ammonia nitrogen removal by air stripping process*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Carlos, 371 pp.
- Stegmann R, Heyer KU, Hupe K, Ritzkowski M 2003. Discussion of criteria for the completion of landfill aftercare. In *Proceedings Sardinia* 3:6-10.
- Wimmer B, Hrad M, Huber-Humer M, Watzinger A, Wyhlidal S, Reichenauer TG 2013. Stable isotope signatures for characterising the biological stability of landfilled municipal solid waste. *Waste Management* 33(10):2083-2090.
- Yao Z, Li J, Xie, H, Yu 2012. Review on remediation technologies of soil contaminated by heavy metals. *Procedia Environmental Sciences*, 16:722-729.
- Zalesny RSJr, Bauer EO, Hall RB, Zalesny JA, Kunzman J, Rog CJ, Riemenschneider DE 2005. Clonal variation in survival and growth of hybrid poplar and willow in an *in situ* trial on soils heavily contaminated with petroleum hydrocarbons. *Int. J. Phytoremed* 7(3):177-197.
- Zalesny RSJr, Riemenschneider DE, Hall RB 2005. Early rooting of dormant hardwood cuttings of *Populus*: analysis of quantitative genetics and genotype×environment interactions. *Canadian J. Forest Res.* 35:918-929.
- Žaltauskaitė J, Vaitonyte I 2016. Toxicological assessment of closed municipal solid-waste landfill impact to the environment. *Environmental Research, Engineering and Management* 72(4):8-16.
- Zaneti ICBB, da Silva GO 2017. "SUSTENTABILIDADE URBANA E GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: O CASO DO DISTRITO FEDERAL" in *Fórum Internacional de Resíduos Sólidos*, 10p Curitiba, Brasil.
- ZANETI, I. C. B.; SILVA, G. O. Sustentabilidade urbana e gestão de resíduos sólidos: o caso do distrito federal. *Fórum Internacional de Resíduos Sólidos - Anais*. Anais...Curitiba. 2017.
- Zhu E, Liu D, Li JG, Li TQ, Yang XE, He ZL, Stoffella PJ 2010. Effect of Nitrogen Fertilizer on Growth and Cadmium Accumulation in Sedum Alfredii Hance. *Journal of Plant Nutrition* 34(1):115-126.