

A FITORREMEDIAÇÃO COMO ALTERNATIVA PARA RECUPERAÇÃO DO SOLO DO LIXÃO DE ASSÚ/RN

Fernanda Mayara Fernandes da Paz¹
Oswaldo Nogueira de Sousa Neto²

RESUMO

Os problemas originários da disposição dos resíduos sólidos de forma inadequada, a contaminação de solos por metais pesados, os custos elevados diante de uma possível recuperação, podem acarretar em diversos problemas para geração atual, assim como, a sociedade futura. Isso é tema de debate adentrando em possíveis alternativas para solucioná-los, de forma econômica e recuperando de fato, solos degradados por agentes contaminantes. Portanto, tal artigo tem como objetivo geral a possibilidade de recuperação por meio da fitorremediação. Na metodologia foi realizada uma pesquisa de natureza qualitativa permitindo a interpretação de um fato observado, de caráter descritivo que possibilitará descrever características das variáveis, através de uma revisão bibliográfica e estudo documental. A fitorremediação para tratamento de solo de um lixão, é viável o uso de plantas nativas da caatinga, entretanto, o uso da Algaroba (*Prosopis juliflora*) planta nativa do bioma peruano, se adequa bem ao clima e solo do Nordeste e consequentemente da caatinga. Há também a Taboa (*Typha domingensis*), o Charuto do Rei (*Nicotiana glauca* Graham), a imburana (*Commiphora Leptophlocos*) e até mesmo realizar testes com plantas de outros ecossistemas afim de mitigar a ação de metais pesados. Foi verificado que é possível a recuperação de um lixão através da fitorremediação, baseando-se nas características do lixão de Assú, utilizando as espécies citadas anteriormente, cabendo ao órgão público municipal e a sociedade serem conscientes quanto a importância de um tratamento de solo degradado para uma geração futura. Isso acarretará a longo prazo, impactos positivos para a região e eliminará a iminência de riscos à saúde de todos. É necessária a adoção de medidas de urgência para que não acarrete em danos maiores.

Palavras-chave: Fitorremediação. Tratamento. Plantas. Solo.

ABSTRACT

The problems arising from the improper disposal of solid waste, the contamination of soils by heavy metals, the high costs in the face of a possible recovery, can cause several problems for the current generation, as well as the future society. This is a topic of debate, exploring possible alternatives to solve them, economically and recovering, in fact, soils degraded by contaminating agents. Therefore, this article has as a general objective the possibility of recovery through phytoremediation. In the methodology, a qualitative research was carried out allowing the interpretation of an observed fact, of a descriptive character that will make it possible to describe characteristics of the variables, through a bibliographic review and documentary study. Phytoremediation for soil treatment in a landfill is viable using native plants from the caatinga, however, the use of Algaroba (*Prosopis juliflora*) plant native to the Peruvian biome, is well suited to the climate and soil of the Northeast and consequently the caatinga. There is also Cattail (*Typha domingensis*), King's Cigar (*Nicotiana glauca* Graham), Imburana

¹ Discente do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

² Professor da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

(Commiphora Leptophlocos) and even conduct tests with plants from other ecosystems in order to mitigate the action of heavy metals. It was verified that it is possible to recover a landfill through phytoremediation, based on the characteristics of the landfill in Assú, using the species mentioned above, and it is up to the municipal public agency and society to be aware of the importance of a degraded soil treatment for a future generation. This will have long-term positive impacts for the region and eliminate the imminence of health risks for all. It is necessary to adopt urgent measures so that it does not result in greater damage.

Keywords: Phytoremediation. Treatment. Plants. Ground.

1 INTRODUÇÃO

Não é de hoje que o planeta passa por transformações, sejam elas culturais, sociais ou ambientais, que vem chamando atenção no atual cenário relacionado ao meio ambiente, devido à elevação do número de habitantes, a necessidades de melhorias na qualidade de vida. Contudo, a elevação do número de habitantes, junto com o crescimento desproporcional e não planejada de cidades causam impactos ambientais por não se aterem aos cuidados devidos, refletindo no meio ambiente em geral (ALCANTARA, 2017).

Com o descarte indevido na área pode acarretar em diversos impactos ambientais que podem afetar a saúde humana. Ou seja, metais como mercúrio, cádmio e chumbo podem gerar impactos ambientais devido ao descarte irresponsável e disposição inadequada dos resíduos contaminadores advindos das atividades humanas. A lei n. 12.305/2010 conhecida também por Política Nacional de Resíduos Sólidos, é a lei que estabelece os procedimentos e regras de caráter ambiental em relação ao gerenciamento de resíduos. Tal lei define medidas que devem ser adotadas pelo poder público e pelo setor privado frente à disposição responsável dos resíduos sólidos. A lei nº 9.605 denominada de Lei da Natureza: Lei dos Crimes Ambientais de 12 de fevereiro de 1998 em seu art. 54, afirma que é crime ambiental poluir em qualquer grau ou nível que resultem em danos à saúde humana potencialmente mortal para animais e possivelmente destrutiva para a flora (COSTA *et al.*, 2015).

Dentre as alternativas para tentar reduzir os impactos ambientais direcionados ao solo, existe a fitorremediação. Esta é uma técnica ou processo biológico que faz uso de plantas e microrganismos do solo, conhecidos como agentes remediadores que são associados entre si, afim de reduzir os efeitos tóxicos de contaminantes nos ambientes, removendo do solo metais pesados, poluentes orgânicos, entre outros (SOUSA, 2018). Assim, é importante a busca por novas possibilidades de preservação do ambiente, como um todo, através da elaboração de novas leis de proteção, além de realização de novas pesquisas e métodos de recuperação das áreas degradadas como o solo propriamente dito, fazendo uso de novas tecnologias, para assim, amenizar a poluição gerada e, conseqüentemente, os possíveis impactos ambientais (LAMEGO; VIDAL, 2007).

Neste contexto, a fitorremediação passa a existir dentre diversas técnicas, com possível capacidade de diminuição de danos causados em solos por meio de metais pesados, com o uso de métodos baseados em algumas plantas para remediação de solos contaminados. A fitorremediação é um método que faz uso das propriedades das plantas que age na descontaminação de solos e água, tendo com vantagem própria o baixo custo de aplicação se comparado à outras técnicas. No entanto, o baixo conhecimento e a escassez de pesquisas sobre o tema ainda é uma barreira que necessita ser superada através de novas pesquisas para assim, elevar o conhecimento e determinar o vegetal remediador para resolução de problemas (ANSELMO; JONES, 2005).

A preocupação com a necessidade em recuperar e conseqüentemente preservar o ambiente é necessário para que as gerações futuras possam continuar sendo autossuficientes e

por isso deve-se sempre haver a busca por técnicas de tratamento dos meios vitais para a vida humana, tais como a água, ar e o solo. Partindo dessa conjuntura, o presente estudo tem como problema: a fitorremediação é uma prática alternativa na busca do tratamento de solo de um lixão? A falta de conhecimento possibilita ainda mais a não realização de ações para realização de cuidados com o ambiente, como no caso do próprio solo. Assim, é imprescindível que hajam novos estudos, pesquisas e consequentemente resultados positivos para que a técnica da fitorremediação de solos seja uma técnica posta em prática constata e trazendo consigo os resultados esperados. Assim, é de fundamental importância a produção de estudos direcionados as técnicas inovadoras, fazendo uso de plantas apropriadas que possibilite a recuperação de solos degradados e que em um futuro próximo, se torne uma medida mitigadora constantemente utilizada.

O presente artigo tem como objetivo geral, avaliar mediante a literatura pertinente, a possibilidade de recuperação do solo por meio da técnica de fitorremediação.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Problemática dos lixões no contexto nacional

A forma inadequada da disposição e destino final de resíduos sólidos geram danos que pode ser irreparável em alguns casos. Ou seja, a disposição de resíduos sólidos é um dos principais causadores de contaminação do solo e dos recursos hídricos, o que acarreta na geração de impactos ambientais. Mesmo que encerrado as atividades dos lixões, é preciso que haja o monitoramento da área do lixão, evitando novas deposições de resíduos, e quanto ao resíduo já disposto, sua decomposição será lenta, podendo haver a iminente ocorrência de geração de gases, e a formação de chorume, principais agentes contaminantes do solo e das águas (FÁVARO, 2014).

Os resíduos sólidos produzidos pela sociedade contêm elevado potencial produtivo de metais pesados, se destacando o Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn). Tais resíduos liberam ou podem liberar metais pesados, elevando o nível de poluição e contaminação junto ao meio ambiente (PINTO FILHO *et al.*, 2012).

No Brasil o gerenciamento de resíduos sólidos é estabelecido pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) por meio da publicação da Resolução 313 de 2002, instituindo o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos. O CONAMA também é responsável por estabelecer critérios para certos tipos de tratamento de resíduos, como podem ser visualizados na Resolução 316 de 2002. Existe também no Brasil a Norma Técnica Brasileira (NBR) - 10004: 2004 que faz parte da legislação brasileira para resíduos que tem como finalidade a classificação dos resíduos sólidos, trazendo as diretrizes quanto ao gerenciamento adequado de resíduos (ROMANI, 2014).

De acordo com a NBR 10.004:2004 a classificação dos resíduos de acordo com sua composição e iminência de riscos ao meio ambiente e à saúde pública é dividido em: Resíduos classe I, que são considerados os mais perigosos devido a possuírem um alto grau de periculosidade devido a inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade; Resíduos classe II, que são os não perigosos, divididos em resíduos classe II A não Inertes e classe II B Inertes.

Ainda de acordo com a norma que classifica os resíduos pelo seu grau de risco, a mesma estabelece que os Resíduos de Classe I não é formado apenas por objetos tóxicos, eles podem também ser cortantes. Dentre os resíduos contaminantes que podem ser citados como exemplo tem-se os restos de tinta, resíduos hospitalares, produtos químicos e radioativos, pilhas e baterias, entre outros. Já os Resíduos de Classe II têm-se como exemplos de resíduos não inertes

a fibra de vidro, gesso, garrafas pet e etc. Quanto aos inertes tem-se os tipos de plásticos específicos, resíduos de construções, isopor, entre outros.

Atualmente existem diversas técnicas para recuperação de áreas degradadas que possuem o lixo como causador dos danos, dos quais, de forma resumida podem ser por meio de: aterro sanitário; remoção residual; recuperação parcial; recuperação simples, e; adequação provisória por meio de aterro controlado (NOGUEIRA, 2015).

2.2 Fitorremediação

Diante de várias técnicas, a fitorremediação surge como alternativa para tratamento de solos com determinados níveis de contaminação, que tem micro-organismos estimulados através de raízes de algumas plantas. Ou seja, é um método mitigador que consiste na utilização de plantas com finalidade por meio de sua matéria microbiana, degradar e imobilizar os agentes poluentes presentes no solo (TAVARES, 2009).

Os micro-organismos presentes nas raízes e também ao redor das plantas se beneficia da rizosfera que é um lugar ideal para a propagação dos micróbios, dispondo de alimentos para os mesmos havendo a diferença de solo para solo, que podem conter ácidos orgânicos, carboidratos, entre outros (ROCHA, 2016).

Tal método de remediação ou limpeza de solos degradados só é valido quando os valores dos agentes poluentes concentrados nos solos atende as especificações do método para assim, obter um resultado final satisfatório. Por isso, é imprescindível seguir os passos estabelecidos por meio da avaliação de risco e com isso, escolher a forma adequada de remediação (RODRIGUES; ORLANDELLI, 2018).

Para atingir o resultado esperado com o método de fitorremediação é importante o uso de plantas que possuem características de absorção, elevado nível de crescimento, entre outras. É necessário para o sucesso do método a correlação ideal entre solo, planta e o poluente devido as características distintas que cada situação pode dispor para remoção ou imobilização do agente poluidor (COUTINHO *et al.*, 2015).

2.3 Breve contexto histórico da fitorremediação no contexto mundial e nacional

Historicamente falando, a fitorremediação tem origem na Rússia em 1910, documentado através da publicação de Vernadsky intitulado “A biosfera”. Alguns anos depois, mais precisamente na década de 80, a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), ou mais conhecida como união soviética lançou em âmbito nacional, instruções e normas sobre fitorremediação para recuperação de solos industriais e consequentemente o reuso do mesmo resultando em 1,4 milhões de hectares até a década de 90. Logo na sequência nos Estados Unidos, um Russo chamado de Ilya Raskin cria e estabelece o método de fitoextração o que culmina no surgimento de diversas empresas que patenteiam a prática de recuperação do solo através de plantas patenteando depois de mais de cinquenta publicações científicas sobre o tema (SOUZA, 2010).

Ainda de acordo com Souza (2010), em 2000 acontece um salto generalizado quanto ao uso da fitorremediação para tratamento de solos com o lançamento de um guia por parte dos EUA e por parte da Agencia de Proteção do Meio Ambiente da União Europeia um programa denominado de COST 837 que praticava constantes ensaios em solos visando melhorias da técnica.

No Brasil, os primeiros passos para o uso da fitorremediação é iniciado a partir de investimentos direcionados ao tratamento dos resíduos, que na medida em que os anos vão passando, aumentam as exigências sociais. Existem empresas estatais e privadas no Brasil que oferecem essa técnica de recuperação além de instituições de pesquisas acadêmicas que

realizam constantes estudos na busca de novos e eficientes métodos de biorremediação por meio da fitorremediação (ANSELMO; JONES, 2005).

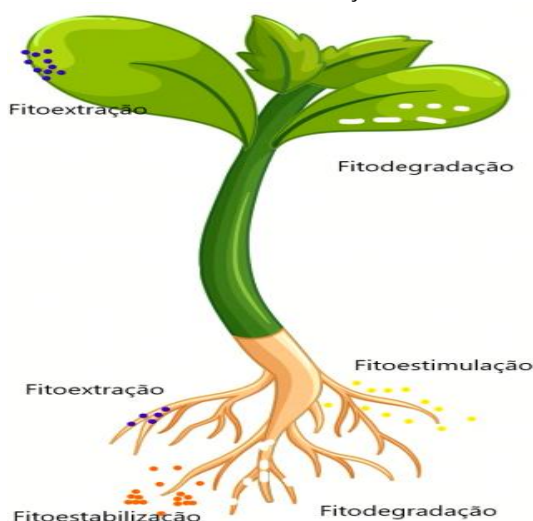
O uso da técnica de fitorremediação em regiões de clima temperado é limitado por causa das condições em que o clima pode estar. Porém, é justamente nessas regiões que existe uma grande iminência do estudo desse método visando à recuperação de áreas degradadas com incidência de metais pesados. Ainda é um pouco escasso no Brasil, estudos que possam potencializar a fitorremediação por meio de diversas espécies de vegetais relacionado aos micróbios ao clima predominante o que dificulta o desenvolvimento do método (VASSÃO, 2019).

Para que haja a implantação e consequentemente o êxito da técnica de fitorremediação é necessário que as plantas nativas a serem introduzidas no ambiente possuam características potencializadoras no combate aos agentes poluidores, porém, nem todas as plantas possuirão as qualidades para atender um determinado solo, podendo ser utilizadas várias plantas de espécies diferentes que busque assim remover mais de um contaminante (ANSELMO; JONES, 2005).

Assim, diante de alguns obstáculos a fitorremediação está configurada da seguinte forma: fitodegradação, fitotransformação, fitoestimulação, fitoestabilização, fitoextração, rizofiltração, fitoacumulação, fitovolatilização e rizodegradação. Sendo que cada técnica listada apresenta consigo particularidades que restringe ou corrobora para seu uso dependendo das características onde deseja remediar levando em consideração ao contaminante presente na área (PINHEIRO, 2017).

A figura 1, demonstra de maneira mais visível como as diferentes técnicas da fitorremediação age de acordo com a situação exposta:

Figura 1 - Diferentes técnicas de fitorremediação e locais de onde as mesmas podem agir.



Fonte: Adaptado de Medeiros (2015).

Assim, Preussler (2014), a fitorremediação usa a potencialidade da relação existente entre o solo e a planta para desintoxicar uma região, cometendo o ato de degradar e neutralizar agentes tóxicos presentes, visando a filtragem dos elementos percolados.

2.4 Métodos fitorremediadoras e suas características

A fitoextração é um método ou tecnologia em constante desenvolvimento para tratamento de solos partindo da descontaminação do mesmo, em que consiste em atuar onde há presença de metais pesados (LEITE *et al.*, 2019).

Ou seja, esse método tem finalidade de remediar por meio de determinadas plantas que através da acumulação de seus tecidos no solo contaminado, acarreta na extração dos agentes

contaminantes presentes no solo sem que haja degradação ou comprometimento das características do próprio solo após seu tratamento (MEJÍA *et al.* 2014).

O método em que se fundamenta a fitoextração se dá por meio da impregnação dos agentes orgânicos que estão contaminando o solo, por meio das raízes das plantas, quem armazenam e em seguida destinam os contaminantes para as partes aéreas da planta onde se acumulam, como pode ser vista na figura 2. Como qualquer outro remediador, tal método visa a redução da presença de metais pesados em solos em tempo admissível (VASSÃO, 2019).

Para pôr em prática o método da fitoextração, é preciso usar plantas hiperacumuladoras, que são capazes de absorver e guardar elevado número de metais com menor produção de biomassa. Também podem ser usadas na fitoextração, plantas que produzem elevadas quantidades de biomassa, porém, se comparado à abordagem antes citada, possui menor capacidade para acumular metais (NASCIMENTO *et al.*, 2009).

Entretanto, para alcançar resultados satisfatórios na execução desta técnica, é importante identificar se o solo possui elevadas concentrações de metais pesados e que a planta usada tolere a exposição que a mesma sofrerá na execução do método, devendo a mesma possuir características de crescimento acelerado, produza muita biomassa e seja uma boa acumuladora de metais (VASSÃO, 2019).

De acordo com Leite *et al.* (2019), o método de fitoestabilização ou fitomobilização tem como finalidade impor um limite para a movimentação dos metais pesados presentes nos solos, usando como ferramenta de ação, a própria raiz da planta.

Em outras palavras, sugere a utilização de plantas e suas raízes para impedir que o agente contaminante possa se locomover por meio dos agentes externos naturais como o vento, a chuva, erosão, entre outros. O solo contaminado por metais pesados como o As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb e Zn, por exemplo, que é um tipo de metal que possui uma maior dificuldade de tratamento e eliminação, se torna mais viável mantê-lo estável no próprio local onde se encontra o contaminante. Assim, a ação das raízes de plantas na fitoestabilização, como o próprio nome já diz, é imprescindível para propagação do agente contaminante, evitando assim uma possível alteração nas propriedades químicas em determinados solos (JUNIOR *et al.*, 2016).

Com intuito de estabilizar os agentes contaminantes presentes no solo, antecipando as possíveis propagações por meio de erosão ou lixiviação, a fitoestabilização atua por meio da precipitação dos poluentes expostos na rizosfera através das ligações covalentes existentes que possuem caráter irreversível permite a conversão do poluente em outras formas biodisponíveis. Esse método também pode liberar O₂ e demais compostos, para promover a estagnação dos metais pesados na rizosfera (ROCHA, 2016).

A Fitodegradação ou fitotransformação é um método de fitorremediação que faz uso da ocorrência de degradação ou transformação de um certo tipo de composto orgânico atuantes no interior da planta, podendo ser citados, pesticidas, solventes, entre outros. Este mecanismo ocorre por meio dos processos metabólicos ocasionados devido a relação direta da absorção de contaminantes e ação de compostos enzimáticos liberados pelas raízes, com a ausência da atuação iminente dos microrganismos dispostos na rizosfera, promovendo assim, transformações internas das plantas para ações frente aos metais pesados (PINHEIRO, 2017).

A fitodegradação e consequentemente o processo de mineralização consiste na ação promovida por enzimas específicas como a que promove a degradação de compostos nitroaromáticos, a degradação de solventes clorados e pesticidas, como citados acima (MEDEIROS, 2015). Ou seja, essa técnica possui a capacidade de promover a transferência de compostos orgânicos para outros destinos, ou melhor, podem ser realocados para outros tecidos das plantas em estado volatizados, acarretando em uma possível degradação variável que gera compostos menos tóxicos ligados diretamente aos a tecidos das plantas (COUTINHO *et al.*, 2015).

De acordo com Junior *et al.*, (2016), é imprescindível frisar que se a planta selecionada para agir na fitodegradação ou fitotransformação não possua condições de degradar metal pesado presente no solo, é necessário haver cuidados para a aplicação da técnica. Ou seja, é preciso que haja a retirada e tratamento dos materiais biológicos contaminados da região de tratamento.

A fitorremediação um método que é executado por meio da absorção dos agentes contaminantes através da ação realizada pelas raízes das plantas, partindo da liberação das folhas ou raízes na forma simplificada para a atmosfera, em que há a possibilidade de mudanças nas propriedades químicas das mesmas. Ou seja, a partir do momento em que os agentes contaminantes que foram absorvidos são transformados em formas menos tóxicas quando expelidas na atmosfera devido a fotodegradação que é um processo natural de remediação (PINHEIRO, 2017).

Ainda segundo Pinheiro (2017), o processo de fitovolatilização, possibilita a ação de microrganismos da rizosfera na diminuição do Hg (2) em Hg (0), sendo liberados para a atmosfera. Ou seja, os contaminantes liberados para a atmosfera no processo de fitovolatilização não acontece mudanças nas estruturas químicas e com isso os agentes contaminantes permanecem perigosos para o meio ambiente e consequentemente para a saúde humana. Os contaminantes retirados do solo pela fitovolatilização não são controlados como é comum nos outros processos de fitorremediação indicando a iminência que os demais se mudem para outras regiões sem serem notados. É importante frisar que alguns agentes contaminantes perigosos quando em contato com o ar, podem ser fixados em várias partes das plantas, ou seja, nas frutas e na madeira (MEJÍA *et al.* 2014).

A rizofiltração pode ser conceituada como um método ou técnica que usa as plantas terrestres para concentrar por meio da absorção os agentes contaminantes de uma superfície aquosa como metais pesados ou elementos radiativos, por meio do sistema radicular (PREUSSLER, 2014).

Tendo características semelhantes ao método de fitoextração, a rizofiltração é feita por meio de plantas que apresentam raízes com capacidade de desenvolvimento de um sistema radicular, sendo que a partir do contato das raízes a região inserida, as mesmas tornarão saturadas com os agentes contaminantes, onde as plantas podem ser substituídas constantemente e com isso manter a constante remediação (SOUZA, 2010).

Na rizofiltração, é importante frisar que a planta pode ser locada tanto no solo, quanto na água promovendo a descontaminação dos mesmos por meio de plantas hidropônicas, tendo vasta disponibilização de biomassa com sistemas radiculares eficientes (JUNIOR *et al.*, 2016).

A Rizodegradação ou Fitoestimulação é o processo da perda de oxigênio através de raízes em volta da rizosfera promove o surgimento e consequentemente o desenvolvimento de micro-organismos aeróbios. Tal processo é uma técnica de fitorremediação e é denominado como rizodegradação ou fitoestimulação (PREUSSLER, 2014).

Em outras palavras, esse método depende da presença de microrganismos que possibilitam a atividade biológica em volta das raízes das plantas, acarretando a iminência digestiva de substâncias, dando destaque as substâncias orgânicas (MEJÍA *et al.* 2014).

A execução da rizodegradação se dá por meio da liberação de compostos produzidos pelas plantas partindo da região superior do solo. Tais compostos tem a capacidade de remediação por meio da atividade dos microrganismos na rizosfera. Como exemplos, podem ser citados como remediador compostos quem contem ácidos orgânicos, esteróis, nucleotídeos e enzimas (SOUZA, 2010).

2.5 Vantagens e desvantagens da fitorremediação

A fitorremediação é uma ferramenta que possui em sua configuração variadas técnicas para diferentes situações. Porém, existem vantagens e desvantagens que devem ser apresentadas para que se possa ter conhecimento da realidade da técnica de remediação.

Quanto as vantagens da fitorremediação existe o baixo custo como pode ser visto na figura 2, como ponto principal se comparado as técnicas convencionais utilizadas no dia-dia. O custo consideravelmente baixo dos equipamentos e suprimentos para executar a fitorremediação são similares aos utilizados na agricultura e por isso, o custo ainda diminui de forma considerável quando a técnica de fitorremediação é inserida e executada em áreas agrícolas (VIEIRA *et al.*, 2011).

Ainda segundo Vieira *et al.* (2011), as plantas quando usadas na fitorremediação podem controlar o processo erosivo, eólico e hídrico de uma área. Impedem que hajam o deslocamento de contaminantes para a água e o solo e, reduzindo a possibilidade de contaminação de reservatórios ou afluentes. Outra vantagem é a estética que através de sua implantação melhora a paisagem. Como desvantagens da fitorremediação podem ser citadas o período de tempo necessário para o crescimento das plantas escolhidas para o processo, havendo também a iminência de perdê-las por eventos naturais ou superficiais, como fogo, geadas, ações do homem, entre outros (MEJÍA *et al.* 2014).

Outra desvantagem da técnica é a possibilidade da formação de produtos tóxicos advindos do processo de quebra dos contaminantes e por isso é difícil confirmar a eliminação do agente contaminante durante a atividade metabólica da planta (VIEIRA, 2011). Para melhor visualização quanto as vantagens e desvantagens do processo de fitorremediação, o Quadro 1 apresenta quais as possibilidades para ambos os casos.

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens da fitorremediação.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Técnica passiva in situ.	Limitada a solos rasos ou onde a contaminação está localizada (< 5m).
Utilização de energia solar que é de baixo custo.	Ainda em fase de desenvolvimento e, portanto, não aceito por muitas agências reguladoras.
Redução do impacto ambiental e contribuição para a melhoria da paisagem.	Há pouco conhecimento sobre a agricultura, genética, reprodução e doenças de plantas fitorremediadoras.
Grande aceitação por parte do público.	Concentração do metal no solo pode ser tóxico e letal para a planta.
Fornecer habitat para a vida animal.	Geralmente, as plantas são seletivas na remediação do metal.
Redução na dispersão da poeira e de contaminantes pelo vento.	Tratamento mais lento do que as técnicas físico-químicas tradicionais.
Redução do escoamento superficial.	Contaminação pode se espalhar através da cadeia alimentar se as plantas acumuladoras forem ingeridas pelos animais.
Redução da lixiviação e da mobilização de contaminantes no solo.	Plantas fitorremediadoras podem não se adaptar às condições climáticas e ambientais dos locais contaminados.
A colheita das plantas que tenham acumulado metais é de fácil realização com as tecnologias já existentes	Se as plantas liberam compostos para aumentar a mobilidade dos metais, estes podem ser lixiviados para as águas subterrâneas.
As plantas do processo são mais facilmente controladas do que os microrganismos.	Toxicidade e biodisponibilidade de produtos da degradação são ainda desconhecidas.

Fonte: Medeiros (2015, p. 24-25).

2.6 Características de plantas fitorremediadoras

O uso de tecnologias para remediação vem passando por inúmeras mudanças nos últimos anos devido aos constantes avanços em pesquisas e consequentemente criação de métodos que fez com que houvesse pressões nas indústrias com intuito de melhoria nos custos e consequentemente benefício tanto econômicos quanto ambientais (FERREIRA; SILVA; DA SILVA, 2019).

Destarte, vem surgindo novas demandas ambientais advindas da população que proporcionou o aumento da conscientização social em relação a esse assunto, mostrando a importância e a necessidade de inovação para reabilitar consequentemente áreas contaminadas (FERREIRA; SILVA; DA SILVA, 2019).

As plantas usadas como ferramentas para descontaminação de solos e também de reservatórios de água devem atender há uma série de requisitos para que possa ser considerada uma fitorremediadoras (SAVANI, 2016).

Ainda segundo Savani, as plantas fitorremediadoras devem possuir atributos como:

- 1) Deve possuir alta taxa de crescimento; 2) Alta taxa de biomassa; 3) Capacidade de absorção, concentração, metabolização e tolerância ao contaminante; 4) Para fitoextração, ter boa retenção do contaminante através das raízes; 5) Sistema radicular profundo e denso; 6) Ser de fácil colheita (quando for necessária a sua remoção); 7) Capacidade em se desenvolver bem em ambientes e climas diferenciados; 8) Possuir dados relatados na literatura, de ocorrência natural em ambientes poluídos; 9) Ser de fácil controle (evitando espécies “pragas”); 10) Ter resistência a doenças e/ou pragas; 11) Capacidade transpiratória elevada, em especial para árvores (SAVANI, 2016, p. 29-30).

Para a fitorremediação existem uma variedade de espécies de plantas hiperacumuladoras de metais pesados, tendo um número que ultrapassa mais de 450 plantas em todo o mundo capazes de serem usadas na fitorremediação (SILVA, 2012).

Dentre os metais pesados temos o Zinco (Zn), o Níquel (Ni) que é a mais comum e está em número maior dentre as demais, o Manganês (Mn), o Cobre (Cu), o Cobalto (Co), o Cádmio (Cd), além dos metalóides como Arsênio (As) e o não-metal Selênio (Se) (SILVA, 2012).

As plantas definidas como hiperacumuladoras devem ser capazes de acumular um número estimado de cada metal pesado existente. Ou seja, são plantas com capacidade de acumular mais de 100 mg kg⁻¹ de Cádmio, 1000 mg kg⁻¹ de Níquel, 26 Chumbo e Cobre, ou 10000 mg kg⁻¹ de Zinco e Manganês por matéria seca (SILVA, 2012).

No Brasil existe um conjunto variado de tipos de vegetação com fauna e flora possuindo suas devidas particularidades, propostos pelas características determinadas de cada região. Ou seja, aspectos climáticos, geográficos e geológicos que são característicos de um bioma diversificado singular e próprio. Assim os biomas que estão presentes em todo o território brasileiro são: Amazônia, cerrado, a Mata Atlântica, a Caatinga, o Pampa e o Pantanal (SOUZA, 2017).

A caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro localizado na região Nordeste do país, que é formada por plantas e vegetais tolerantes a escassez de água, ou melhor, são plantas que estão adaptadas a longos períodos de seca.

Ela é constituída por plantas com configurações não igualitárias às plantas mais comuns de outros ambientes e sua particularidade está na formatação torta, com folhas pequenas e cheias de espinhos (SOUZA, 2017).

No quadro 2 são apresentadas algumas espécies de plantas que foram utilizadas como fitorremediadoras no nordeste brasileiro, ou seja, na caatinga brasileira sendo importante destacar que dentre as plantas citadas a única que não é nativa da caatinga é a Algarobeira.

Quadro 2 - Plantas da caatinga com características fitorremediadoras.

PLANTA	DESCRIÇÃO	UTILIDADE
Algarobeira (<i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.)	Algaroba é o nome dado ao fruto da Algarobeira, planta cultivada na região do semiárido do Nordeste Brasileiro.	Árvore com potencialidade fitorremediadora para os seguintes metais pesados: Co; Ni; Cu; Zn; Al; Cr; Mn; Fe.
Charuto-do-rei (<i>Nicotiana glauca</i> Graham)	É encontrada no estado do Pernambuco, em ambientes secos na região semiárida.	Planta com capacidade fitorremediadora de solos com presença de metais pesados: Cu; Fe; Mn; Zn; Ni; Cd; Pb.
Taboa (<i>Typha domingensis</i> Pers.)	É descrita como uma planta herbácea perene, ereta, com caule cilíndrico, rizomas rasteiros, com folhas de até 3 m 49 de comprimento, com 15 a 25 mm de largura.	Vegetal que possui capacidade de fitorremediar solos de forma eficiente onde existe a presença de Pb e Ni
Imburana, Imburana-de-cambão e umburana (<i>Commiphora leptophlocos</i>)	Espécie indicada para primeira fase de recuperação de áreas degradadas, com finalidade de enriquecer capoeiras e matas devastadas.	Árvore com maior potencial extrator ao zinco em relação aos outros metais pesados
Barriguda, Paineira-branca, Árvore-da-seda, Árvore-da-lã, Tronco bojudo. (<i>Chorisia Glaziovii</i>)	Possui crescimento rápido, é recomendada para áreas degradadas como plantios heterogêneos.	Espécie que apresenta maior potencialidade em acúmulo e distribuição de Zn, Cu e Pb.
Ipê-roxo, Pau-D'arco-Roxo, Ipê-Roxo-de-Bola, Ipê-Una, Ipê Preto, Pau-Cachorro. (<i>Tabebuia Impetiginosa</i>)	Espécie recomendada para reflorestamento de áreas degradadas, áreas de preservação permanente, devido sua resistência a temperaturas e disponibilidade hídrica, e por apresentar um crescimento rápido.	Possui boa absorção de Zn, porém, não expressa distribuição homogeneizada nos tecidos vegetais.
Alecrim-da-chapada (<i>Lippia gracilis</i>)	Planta produtora de óleo essencial cujo rendimento pode ser influenciado por condições de estresses, sejam eles bióticos ou abióticos.	Usada na fitorremediação de solos com presença de NaCl.

Fonte: Adaptado de SOUZA (2017); LIMA (2018); DUTRA (2019).

Segundo Lima (2018), o ecossistema caatinga é uma área imprescindível na ciência biológica sendo necessária a conservação da flora devido ao caráter vegetal único.

A contaminação de metais pesados no solo é resultado da aplicação de resíduos urbanos, industriais, uso de fertilizantes e pesticidas entre outros. As concentrações de metais no solo em quantidades elevadas podem afetar a produtividade e consequentemente sua estrutura molecular, afetando a biodiversidade e a sustentabilidade dos ecossistemas, acarretando em perigos devido a permanente iminência de riscos à saúde dos seres humanos e animais (DUTRA, 2019).

Existem uma variada quantidade de metais essenciais para o crescimento de muitos organismos, partindo de bactérias e chegando até o ser humano. Porém, nos seres humanos essas concentrações devem ser baixas para que não haja danos ao sistema biológico (SILVA, 2012).

Assim, existem três tipos de metais que são classificados em metais essenciais ou fitotóxicos dos quais tem-se o Na, K, Ca, Fe, Zn, Cu, Ni e Mg. Existem os micro contaminantes ambientais ou zootóxicos que são os As, Pb, Cd, Hg, Al, Ti, Sn e W, e por fim, existem os metais considerados elementos essenciais e simultaneamente micro contaminantes dos quais podem ser citados os Cr, Zn, Fe, Co, Mn e Ni. É possível determinar um total de cinquenta e três elementos que forma a categoria de metais pesados, presentes em todas as partes sendo caracterizado por serem contaminantes ambientais atuantes nas sociedades industrializadas (SILVA, 2012).

As plantas possuem mecanismos capazes de aumentar a concentração de íons metálicos por meio da solução do solo, a partir da modificação do ambiente químico da rizosfera. Além disso, as plantas também podem transpirar e expelir ao ambiente uma variedade de compostos orgânicos, possibilitando a formação de complexos com os metais, deixando-os disponíveis para serem absorvidos (MARQUES; MOREIRA; SIQUEIRA, 2000).

Quanto a legislação pertinente à aplicação do método de fitorremediação existem órgãos reguladores que tem objetivo de verificar se a aplicação não traz riscos iminentes a vida dos seres humanos. E para isso, é necessário que a prática da fitorremediação diminua a toxicidade dos agentes contaminantes, sua concentração e sua possível migração (BATISTA, 2012).

O sistema regulador deve buscar a participação da sociedade no processo de tomada de decisão, onde as barreiras existentes frente as leis e regulamentos ambientais devem favorecer a uma introdução de técnicas inovadoras, como é o caso da fitorremediação. A remediação e o controle das áreas degradadas devem ser local para implantação de técnicas fitorremediadoras baseadas na avaliação de risco na área, realização de remediação com base nos padrões de qualidade do ar, água e solo e por fim na demonstração das melhores técnicas disponíveis para a remediação (MARQUES; AGUIAR; SILVA, 2011).

Por fim, o Quadro 3 apresentará alguns estudos de recuperação de solos contaminados por metais pesados que fizeram uso de plantas fitorremediadoras para recuperação da área.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização do município: mesorregião e microrregião

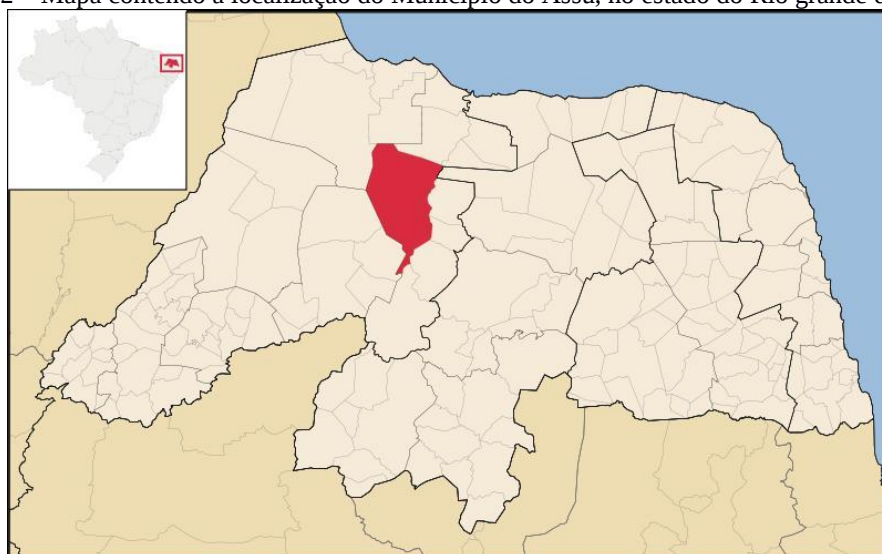
O município do Assú está localizado na microrregião conhecida como Vale do Açu que é pertencente à mesorregião Oeste Potiguar. Toda a região era habitada por índios com território próprio para a criação de gado e a prática da agricultura. Na medida com que os anos foram passando e por devido à chegada do homem branco colonizador, o território foi marcado por diversos conflitos no período girando em torno do século XVIII. A Lei provincial nº 124, de 16 de outubro de 1845, outorgou à Vila Nova da Princesa a qualidade de município, denominado com o nome de Açu e que a partir da década de 90, foi alterado o nome, passando a se chamar Assú. (PREFEITURA MUNICIPAL DE ASSÚ, 2020).

A figura 2 mostra a localização do município de Assú que possui uma área de 1.303,442 km², distante 207 km aproximadamente da capital do estado, Natal. A população que foi estimada para 2019 totalizando 58.017. Situado a 32 metros de altitude, Assú tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 5° 34' 38" Sul, Longitude: 36° 54' 30" Oeste. (IBGE, 2020).

Levando em consideração o caráter geológico, o município de Assú possui terrenos do Embasamento Cristalino e da Bacia Potiguar, com as seguintes unidades lito-estratigráficas: Complexo Caicó, Suíte Poço da Cruz, Formação Açu, Formação Jandaíra, Grupo Barreiras, Depósitos colúvio-eluviais, Depósitos aluvionares e Depósitos flúvio-lacustrinos.

A região possui uma elevada abundância de recursos minerais como a argila para cerâmica vermelha, calcário e gipsita. Se tratando do aspecto geomorfológico, o Assú possui uma área plana que foi resultado de uma acumulação fluvial e que é passível a inundações periódicas (IDEMA, 2008).

Figura 2 – Mapa contendo a localização do Município do Assú, no estado do Rio grande do Norte.



Fonte: SEBRAE (2012).

O clima predominante do município é o tropical equatorial semiárido, tendo um solo formado por meio da fragmentação das rochas cristalinas, existentes na localidade. De acordo com a EMBRAPA, existem no município de Assú as seguintes classes de solo: Argissolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo Háplico, Latossolo Vermelho, Neossolo Flúvico, Neossolo Litólico e Planossolo Nátrico. Sendo que o solo que se encontra na maior parte do território do município é o Argissolo Vermelho-amarelo que o mesmo é capaz de apresentar alto grau de fertilidade. O município ainda conta com 95% nos domínios da bacia hidrográfica Piranhas-Açu e 5% na bacia hidrográfica Apodi-Mossoró (CPRM, 2005).

A vegetação predominante no município de Assú é uma vegetação classificada como Savana Estépica que é composta por vegetais campestres, de estrato lenhoso e espinhoso, sendo a mesma representada pela Caatinga Hiperxerófila que se diferencia das demais por ser uma vegetação seca, espinhosa de porte baixo e espalhadas (IDEMA, 2008).

De acordo com os dados de precipitação nos anos de 1963 a 2006 da Unidade Instrumental de Meteorologia da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN, Assú tem o total pluviométrico médio anual de 699 mm. O período chuvoso do município ocorre entre os meses de março e maio, enquanto os meses de setembro e novembro são os mais secos. (IDEMA, 2015).

3.2 Procedimentos e coletas de dados

A presente pesquisa de acordo com Rampazzo (2009), é caracterizada como pesquisa descritiva de acordo com os objetivos, tendo como procedimentos para realização um estudo documental visando a realização de uma análise em documentos já existentes ou a partir da pesquisa expor novas informações. Referente a abordagem da pesquisa a mesma é qualitativa.

Quanto ao universo da pesquisa foram obtidas informações que serviram como base para produção do trabalho advindos da Prefeitura Municipal de Assú, no estado do Rio Grande do Norte. Assim, os dados obtidos através da pesquisa, foram analisados descritivamente e interpretados com finalidade de responder os questionamentos do presente artigo.

As etapas do presente artigo se deram através de um referencial teórico para obtenção de bases conceituais, onde foram buscadas informações sobre o local de estudo afim de se obter respostas quem atendessem os questionamentos do presente artigo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Situação do lixão municipal de Assú

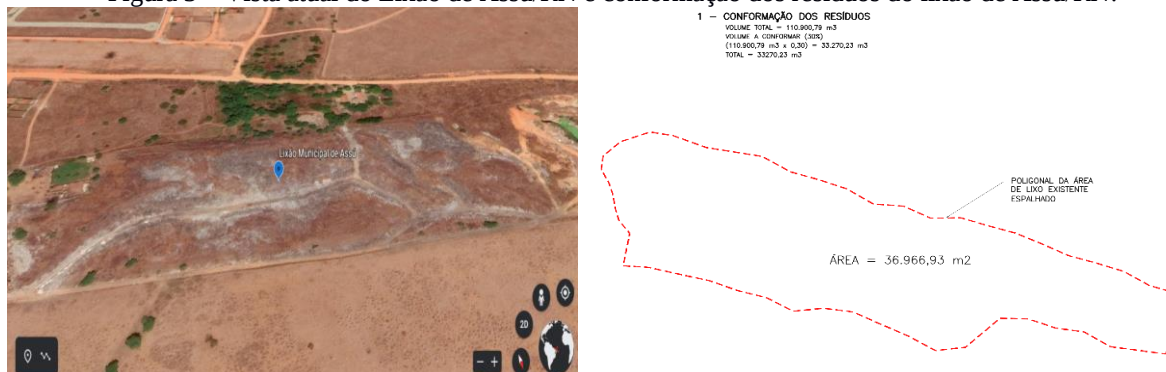
Atualmente, o lixão que pertence ao município de Assú encontra-se desativado, porém a área do mesmo ainda não foi recuperada. Más, está em andamento a fase final de projetos e procedimentos licitatórios para início da execução das obras de recuperação.

O lixão de Assú/RN contém resíduos sólidos potencialmente contaminantes dispostos a céu aberto contribuindo para a disseminação de micro vetores como insetos de qualquer natureza, e macro vetores. Mesmo encerrado há alguns anos devido a ocupação de área irregular, localizado na zona urbana, próximo às residências familiares, o mesmo ainda representava a iminência de riscos a população por apresentar constantes incêndios devido a combustão natural dos gases e as altas temperaturas do município.

De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Assú, o mesmo encontra-se em condições precárias, com péssimas condições sanitárias o que vem afetando a qualidade de vida e a saúde das pessoas devido as condições do ambiente em que vivem.

Costa et al. (2015), afirma que os resíduos sólidos descarregados no lixão do município são expostos ao relento o que permite e favorece a proliferação de micro vetores como as moscas, mosquitos, baratas, ratos, e também de macro vetores como ratos, gatos, cachorros, aves, bovinos.

Figura 3 – Vista atual do Lixão de Assú/RN e conformação dos resíduos do lixão de Assú/RN.



Fonte: Google Earth (2020), Adaptado da Prefeitura Municipal de Assú (2020).

A área do lixão do município do Assú é de 36.996,93 m², onde a conformação dos resíduos totaliza 33.270,23 m³ como pode ser vista na figura 3, fornecida pela Prefeitura Municipal de Assú (2020), quem tem como finalidade depois do encerramento do lixão e construção de um aterro sanitário.

Na região onde está localizado o lixão em estudo, segundo Andrade & Alcântara (2016), é visível a mudança no ambiente, não levando em conta os períodos de seca, mais sim, levando em conta a fauna e flora, não possuindo cobertura vegetal no local. Também houve a possível migração de espécies animais locais o que pode afirmar que estão se refugiando em outras regiões. Ou seja, espécies nativas estão se mudando e espécies de outros habitats como garças, urubus e porcos estão tomando conta da região.

O destino inadequado e o despejo de resíduos sólidos na região considerada como lixão de Assú acometem alterações na qualidade do solo, pois devido a presença de metais através das queimadas e disposição do material, do ar, pela fumaça e a região a céu aberto, e dos corpos aquáticos, através da contaminação de substâncias dispostas no local (COSTA *et al.*, 2015).

De acordo com Pinto Filho et al., (2012), por meio de estudos realizados em vários municípios do Rio Grande do Norte, através da análise de amostras retiradas de solos de lixões

e enviados para a EMPARN em Natal onde foram detectados através de análises, os teores dos metais pesados em solos com resíduos ou agentes contaminantes no lixão do município de Assú-RN, estão entre 104,18 a 106,23 mg/kg de Pb, 45,75 a 48,42 mg/kg de Ni, 85,45 a 95,24 mg/kg de Cr e, 4,25 a 6,43 mg/kg de Cd.

As plantas da caatinga com características fitorremediadoras, para agir no tratamento do solo do lixão de Assú, pode-se usar como plantas remediadora o Charuto do Rei, a Barriguda e a taboa. Essa vegetação possui a capacidade de fitorremediar solos em que existe a presença do chumbo.

Já para presença de Níquel (Ni), as plantas presentes na caatinga que mesmo não sendo nativas, estão bem habituadas com o ecossistema e que podem ser usadas como fitorremediadoras têm, a Algaroba, também o Charuto do Rei e Taboa. Para o Crômio (Cr) presente, pode-se usar Algaroba. Por fim, para o Cádmio pode ser feito o uso do Charuto do Rei.

Devido ao solo do município do Assú ser considerado um solo fértil, toda e qualquer planta fitorremediadora natural da caatinga pode ser testada, isso porque algumas plantas podem ser localizadas em algumas áreas do município como, por exemplo, a imburana, o ipê, entre outros.

É importante frisar que nas proximidades do lixão, localizado no bairro Lagoa do Ferreiro, existem corpos aquáticos, um é a Lagoa do Piató, que quando cheia é o maior lago natural do estado do Rio Grande do Norte. Já o outro corpo d'água é um pequeno lago de caráter privado (ANDRADE; ALCÂNTARA, 2016).

Segundo o site da prefeitura do município de Assú (2020), a área do lixão encerrado está para ser recuperada através da plantação de 12 mil mudas de árvores nativas, ornamentais e frutíferas, em parceria firmada entre a Prefeitura e a empresa Assú Geradora de Energia S.A.

Atualmente, através de informações obtidas na Prefeitura Municipal do Assú, existe um projeto em andamento para a execução de um aterro sanitário dentro das normas reguladoras. Entretanto, se encontra em funcionamento desde o dia 29 de novembro do ano de 2019, o aterro controlado municipal como pode ser visto na Figura 4 localizado na zona rural de Assú, no Sítio Maniçoba, distante 25 km do centro de Assú. O terreno destinado para execução do aterro controlado fica anexado a área onde será construído futuramente o aterro sanitário municipal.

Figura 4 – Aterro controlado de Assú.



Fonte: Adaptado da Prefeitura Municipal de Assú (2020).

Foi estabelecido por um Termo de Ajustamento de Conduta, firmado entre a Prefeitura Municipal de Assú e o Ministério Público do Rio Grande do Norte, a fim de encerrar as atividades do Lixão Municipal e assim, haver a recuperação do solo degradado da área. A figura

5 traz a representação de como ficará área do antigo lixão após obras de terraplenagem e conformação dos resíduos, bem como a implantação de sistema para captação do chorume.

Figura 5 – Camada de cobertura do lixão de Assú/RN.

- CAMADA DE COBERTURA

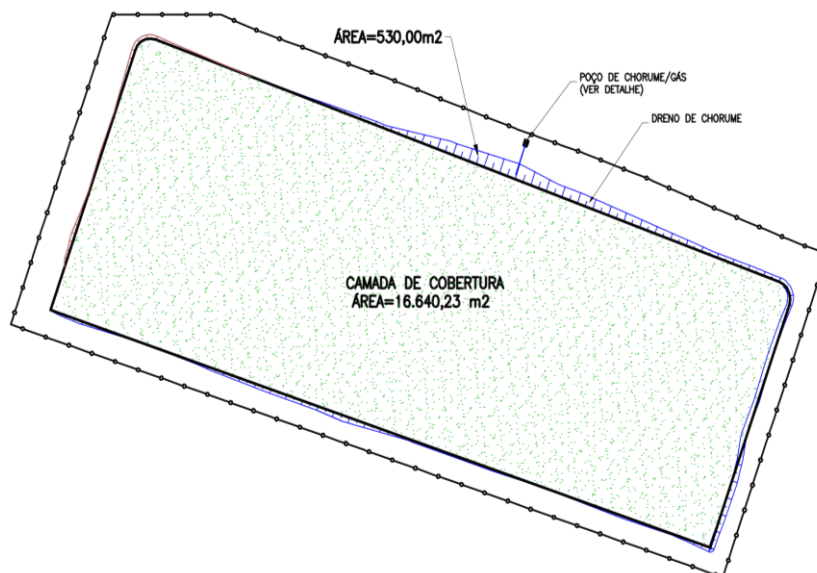
- COMPACTAÇÃO DE ATERROS
 ÁREA = 16.640,23 m²
 SOLO ARGILO ARENOSO = 16.640,23 m² x 0,25 m = 4.160,057 m³
 SOLO ARGILO ARENOSO COM CASCALHO / PEDREGULHO = 16.640,23 m² x 0,25 m = 4.160,057 m³
 TOTAL = 8.320,11 m³
- ESCAVAÇÃO = 8.320,11 m³
- TRANSPORTE = (8.320,11 m³ x 1,80 x 3) = 44.928,59 TONxKm
- LIMPEZA = (8.320,11 m³ : 1,00 m) = 8.320,11 m²
- EXPURGO = (8.320,11 m² x 0,20 m) = 1.664,02 m³

- EXECUÇÃO DOS DIQUES

- COMPACTAÇÃO DE ATERROS
 SOLO ARGILO ARENOSO
 530,00m² m² x 1,2 x 2,50 m = 1.590,00 m³
 TOTAL = 1.590,00 m³
- ESCAVAÇÃO = (1.590,00 m³ x 1,00) = 1.590,00 m³
- TRANSPORTE = (1.590,00 m³ x 1,80 x 3) = 8.586,00 TONxKm
- LIMPEZA = (1.590,00 m³ : 1,00 m) = 1.590,00 m²
- EXPURGO = (1.590,00 m² x 0,20 m) = 318,00 m³

6 - URBANIZAÇÃO

- 6.1 - PORTÃO = 1 UND. (3,00 x 1,20) = 3,60m²
- 6.2 - CERCA PROJETADA = 640,00m
- 6.3 - REVEST. VEGETAL
 - COBERTURA = 16.640,23 m²
 - DIQUES = 530,00m² x 1,2 = 636,00 m²
 - COBERTURA + TALUDES = 16.640,23m² + 636,00m²
 - TOTAL = 17.276,23 m²
 - (17.276,23 m² : 8,25m²) = 2.764,19
 - TOTAL = 2.764,00 MUDAS



Fonte: Adaptado da Prefeitura Municipal de Assú (2020).

De acordo com os resultados encontrados, as informações obtidas sobre os aspectos do lixão para possível tratamento por meio da fitorremediação trouxe informações importantes que poderão ser usadas para uma futura remediação do local através do uso de plantas características da região. Ou seja, aplicar a fitorremediação no local afim de eliminar os riscos exigentes advindos de agentes contaminantes de forma natural e econômica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Respondendo o objetivo do presente trabalho temos como conclusão:

Para tratamento do solo do lixão de Assú, é viável o uso de plantas nativas da caatinga, entretanto, o uso da Algaroba planta nativa do bioma peruano, se adequa bem ao clima e solo do Nordeste e consequentemente da caatinga. Há também a taboa, o Charuto do Rei, a imburana e até mesmo realizar testes com plantas de outros ecossistemas afim de mitigar a ação de metais pesados.

Um bom motivo para isso é que a maioria das plantas da caatinga com potencialidades de fitorremediação crescem de forma mais demorada e por isso carece de mais testes afim de redução do prazo de ação das plantas e vegetais. Porém, se não existem estudos quanto a esse tipo de teste, fica a sugestão para trabalhos futuros.

Destarte, respondendo ao objetivo do presente trabalho podemos afirmar que é possível a recuperação de um solo de um lixão através da fitorremediação, tomando como base as características do lixão já encerrado de Assú, fazendo uso de plantas nativas citadas anteriormente, cabendo ao órgão público municipal e a sociedade serem conscientes quanto a importância de um tratamento de solo degradado para uma geração futura.

Por fim, o presente estudo permitiu concluir que também sugere a realização de outros trabalhos que envolvam esse assunto não só destinado ao município de Assú, mais sim em

caráter nacional, objetivando por meio das gestões em todos os níveis a tomada de decisões envolvendo o gerenciamento de resíduos sólidos, e tratamento por meio da fitorremediação.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCANTARA, Henrique Greggi de. **Fitorremediação de solos contaminados por metais pesados**. 2017. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/7926/1/fitorremediacaosoloscontaminadosmetais.pdf>. Acesso em: 28 set. 2020.

ANDRADE, Ayslann Todayochy Siqueira; ALCÂNTARA, Roselene Lucena. **Resíduos Sólidos Urbanos e Impactos socioambientais no Bairro de “Lagoa do Ferreiro”, Assú/RN**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. V. 20, n. 1, p.16-31, jan.-abr. 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/341533263_Residuos_Solidos_Urbanos_e_Impactos_s_Socioambientais_no_Bairro_Lagoa_do_Ferreiro_AssuRN. Acesso em: 19 nov. 2020.

ANSELMO, André Luis Faustino; JONES, Cleveland Maximino. **Fitorremediação de solos contaminados – O estado da arte**. XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção – Porto Alegre, RS, Brasil, 2005. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2005_Enegep1005_0558.pdf Acesso em: 28 set. 2020.

BATISTA, Elias de Carvalho Lopes. **Fitorremediação: uma visão do método aplicado a solos contaminados e apresentação de tópicos relevantes da fitoextração**. Orientador: Profa. Dra. Liséte Celina Lange. 2012. 64 f. Monografia (Especialização em Saneamento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte - MG, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ENGD-93RNFw/1/monografia_final_de_curso___fitorremediacao___uma_visao_do_metodo.pdf. Acesso em: 18 nov. 2020.

COSTA, A, G; SALES, M, S; CIZENANDO, T, A, L; LOPES, T, C, S; MACÊDO, I, R, C. **Impactos Socioambientais Advindos do Lixão Municipal de Assú/RN**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC’ 2015 15 a 18 de setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Brasil. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/6a3d/6f9312e7ba1e46ca0267e5ee1f19556d4b89.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2020.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do Município de Assú, Estado do Rio Grande do Norte**. Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Saulo de Tarso M. Pires, Dunaldson Eliezer G. A. da Rocha, Valdecílio G. Duarte de Carvalho. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

COUTINHO, Pablo; CADORIN, Danielle; NORETO, Lorena; GONÇALVES JR, Affonso. Alternativas de remediação e descontaminação de solos: biorremediação e fitorremediação. **Nucleus (Online)**, Ituverava, v.12, n.1, p. 59-68, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/307816236_ALTERNATIVAS_DE_REMEDIACA

O_E_DESCONTAMINACAO_DE_SOLOS_BIORREMEDIACAO_E_FITORREMEDIACAO. Acesso em: 05 out. 2020.

DUTRA, Albany Salustino Fernandes. **Potencial fitorremediador da algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC) e percepção quanto aos riscos toxicológicos associados a rejeitos de mineração no semiárido brasileiro.** 2019. 105f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/27251/1/Potencialfitorremediadoralgaroba_Dutra_2019.pdf. Acesso em: 17 nov. 2020.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. AGEITEC – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Descrição dos solos tropicais: Argissolos Vermelho-Amarelos.** Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn0pzmhe02wx5ok0liq1mqk4130gy.html. Acesso em: 19 nov. 2020.

FÁVARO, Bruna de Lima. **Avaliação ambiental de propriedades químicas do solo em lixão desativado do município de Rolândia-Pr.** 2014. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/11917>. Acesso em: 8 dez. 2020.

FERREIRA, Emanuelle Craveiro; SILVA, Fernanda Coura e; SILVA, Priscila Kimberly Almeida da. **Avaliação dos métodos de remediação de solos contaminados por chorume.** 2019. 88 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Federal Fluminense, 2019. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/12556>. Acesso em: 7 out. 2020.

GOVERNO DO ESTADO DO RN. IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do RN. **Perfil do Seu Município – Assú.** Natal/RN: IDEMA, 2008.

IBGE. **CIDADES.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/acu/panorama>. Acesso em: 18 nov. 2020.

JUNIOR, J. L. M; OLIVEIRA, L. H.; DIAS, L. R. S; MURAKAMI, N. M.; MARTINS, T. J. J. P. **Fitorremediação de águas contaminadas com agroquímicos.** Orientador: Cleder Alexandre Somensi. 2016. 23 p. Trabalho de Defesa do Projeto Integrador (Técnico em Química) - Instituto Federal Catarinense, ARAQUARI/SC, 2016. Disponível em: <http://quimica.arauari.ifc.edu.br/wp-content/uploads/sites/20/2018/12/TRABALHO-FINAL-FITORREMEDIA%C3%87%C3%83O-DE-%C3%81GUAS-CONTAMINADAS-COM-AGROQU%C3%8DMICOS.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.

LAMEGO, Fabiane Pinto; VIDAL, Ribas Antonio. **Fitorremediação: plantas como agentes de despoluição?.** **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, [S.l.], v. 17, dec. 2007. ISSN 0103-7277. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/pesticidas/article/view/10662>. Acesso em: 29 set. 2020. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/pes.v17i0.10662>.

LEITE, M.; GUAJAJARA, E. P. V.; SILVA, S.; DA SILVA, W. L.; DOS SANTOS, S. C. Fitorremediação de Solo Contaminado por Metais Pesados. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, ano 2019, v. 12, ed. 2, p. 327-335, 2019. DOI <https://dx.doi.org/10.9771/cp.v12n2p327>. Disponível em: <https://portalseer.ufba.br/index.php/nit/article/view/27308/17047>. Acesso em: 9 out. 2020.

LIMA, A. P. C. **Potencial fitorremediador de espécies vegetais em áreas de mineração do semiárido Pernambucano**. Orientador: Prof. PhD. Kenia Valença Correia. 2018. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/30448/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Anderson%20Pontes%20Chaves%20de%20Lima.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2020.

MARQUES, Marcia; AGUIAR, Christiane Rosas Chafim; SILVA, Jonatas José Luiz Soares da. Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 1-11, fev. 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832011000100001&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 18 nov. 2020.

MARQUES, Teresa Cristina Lara Lanza de Sá e Melo; MOREIRA, Fatima Maria de Souza; SIQUEIRA, José Oswaldo. **Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados**. *Pesq. agropec. bras.* Brasília, v. 35, n. 1, p. 121-132, Jan. 2000. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2000000100015&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 16 nov. 2020.

MEDEIROS, Thales Augusto de Miranda. **Efeito fitotóxico e potencial remediador de três espécies vegetais contaminadas com benzeno**. 2015. 154 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus Experimental de Sorocaba, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/122162>. Acesso em: 07 out. 2020.

MEJÍA, P. V. L. *et al.* Metodologia para seleção de Fitorremediação em Áreas Contaminadas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 31, p. 97-104, mar. 2014. Disponível em: http://www.abes-dn.org.br/publicacoes/rbciamb/PDFs/31-12_Materia_10_artigos395.pdf. Acesso em: 9 out. 2020.

NASCIMENTO, C.D.; ACCIOLY, A.; BIONDI, C.M. Fitoextração de metais pesados em solos contaminados: avanços e perspectivas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v. 6, p. 461-495, 2009. Disponível em: <http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=656357&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22BIONDI,%20C.%20M.%22&qFacets=autoria:%22BIONDI,%20C.%20M.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>. Acesso em: 10 out. 2020.

NOGUEIRA, I. A. Recuperação de lixões: proposta de metodologia de apoio à tomada de decisão. 2015. 93 f. Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2015. Disponível em: https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TCC_Israel_FINALIZADO.pdf. Acesso em: 8 dez. 2020.

PINHEIRO, Maitê Bueno. **Plantas para infraestrutura verde e o papel da vegetação no tratamento das águas urbanas de São Paulo**: identificação de critérios para seleção de espécies. 2017. Dissertação (Mestrado em Paisagem e Ambiente) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. doi:10.11606/D.16.2017.tde-27062017-141958. Acesso em: 06 out. 2020.

PINTO FILHO, J. L. O.; SOUZA, M. J. J. B.; SANTOS, E.G.; FILGUEIRA GÊ, D. R.; CEZAR FILHO, P. Monitoramento dos teores totais e disponíveis de metais pesados no lixo do município de Apodi-RN. **Revista Verde de Agroecologia Desenvolvimento Sustentável**, v.7, n.1, p. 141-147, jan-mar, Mossoró, 2012. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/859>. Acesso em: 20 nov. 2020.

PREUSSLER, Karla Heloise. **Avaliação de um sistema de wetlands no tratamento de lixo de aterro**. Orientador: Cláudio Fernando Mahler. 2014. 119 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/pt/documents2/doutorado/2014-1/2554-karla-heloise-preussler-doutorado>. Acesso em: 8 out. 2020.

RAMPAZZO, L. **Metodologia científica**. 4. ed. São Paulo: Loyola, 2009.

ROCHA, Lanna Shanyelle Moreira. **Fitorremediação de solo contaminado com Diclosulam utilizando Mucuna Atterima, Crotalaria Juncea, Crotalaria Spectabilis**. Orientador: Prof. Me. Alisson José Eufrásio de Carvalho. 2016. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - NSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS, São João Evangelista - MG, 2016. Disponível em: https://www.sje.ifmg.edu.br/portal/images/artigos/biblioteca/TCCs/Agronomia/2016/LANNA_SHANYELLE_MOREIRA_ROCHA.pdf. Acesso em: 5 out. 2020.

RODRIGUES, Patrícia; ORLANDELLI, Ravelly. Plantas como Ferramentas para a Remediação Ambiental: uma Revisão da Literatura. **UNICIÊNCIAS**. Paranavaí. V 22, n 1, p. 42-38. 2018. DOI: 10.17921/1415-5141.2018v22n1p38-44. Disponível em: <https://revista.pgskroton.com/index.php/uniciencias/article/view/5458>. Acesso em: 5 out. 2020.

ROMANI, Samara. **Gestão de resíduos de saúde animal em propriedades rurais do município de Concórdia**. 2014. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6582/1/MD_GAMUNI_VI_2014_77.pdf. Acesso em: 18 nov. 2020.

SAVANI, Fabiana Ramos. **Avaliação de feijão de porco (canavalia ensiformis) como fitorremediador de Pb, Cu e Zn em solos**. 2016. 74 f. Profª Dr.ª Luísa Helena Dos Santos Oliveira (Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Federal do ABC, Santo André-SP, 2016. Disponível em: <http://propg.ufabc.edu.br/cta/wp-content/uploads/2019/12/CTA-2016-Fabiana-Ramos-Savani.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2020.

SILVA, José Felício da. **Prospecção de plantas fitorremediadoras em solos contaminados por metais pesados**. Orientador: Prof. Dr. Genilson Pereira Santana. 2012. 90 f. Tese

(Doutorado em Biotecnologia) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS, MANAUS, 2012. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/3075/1/jose%20felicio.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2020.

SITE DA PREFEITURA MUNICIPAL DE ASSÚ. Disponível em: <https://assu.rn.gov.br/historia/>. Acesso em: 19 nov. 2020.

SOUSA, Ísis Danielle. **Fitorremediação:** contribuição científica brasileira no contexto nacional e internacional. Orientador: Souza, Lucas Anjos de. 2018. 48 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação) - Instituto Federal Goiano, RIO VERDE - GO, 2018. Disponível em: https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos_7/2018-11-19-03-25-26Dissertac%CC%A7a%CC%83o%20%C3%8Dsis%20Danielle%20Sousa.pdf. Acesso em: 28 set. 2020.

SOUZA, Mirlene Rafaella Felix de. **Fitorremediação de solo contaminado por Metais Pesados.** Orientador: Prof^a. Marina Neiva Alvim. 2010. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) - Universitário Metodista Izabela Hendrix, Belo Horizonte - MG, 2010. Disponível em: <https://www.metodista.br/revistas/revistas-izabela/index.php/aic/article/viewFile/536/443>. Acesso em: 5 out. 2020.

SOUZA, T. K. A. **Estudo de plantas nativas da caatinga submetidas a solos contaminados por metais pesados.** Orientador: Prof. Msc. Mariana Ferreira Martins Cardoso. 2017. 64 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - CENTRO UNIVERSITÁRIO TABOSA DE ALMEIDA, ASCES-UNITA, Caruaru, 2017. Disponível em: <http://200-98-146-54.cloudnol.com.br/bitstream/123456789/1005/1/TCC19.06%20MARIANA.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2020.

TAVARES, Sílvio Roberto de Lucena. **Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos.** Orientador: Cláudio Fernando Mahler. 2009. 371 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/79270/1/Tese-Silvio-Completa.pdf>. Acesso em: 5 out. 2020.

VASSÃO, C. B. **Potencial de gramíneas (poaceae) como fitorremediadoras em solo contaminado com herbicida.** Orientador: Prof^a. Dr^a. Ana Maria Conte. 2019. 45 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes-PR, 2019. Disponível em: <https://uenp.edu.br/dissertacao-agronomia/13474-catharina-bertollini-vassao/file>. Acesso em: 6 out. 2020.

VIEIRA, G. E. G.; SILVEIRA, C. R. da; CUTRIM, J.; RIBEIRO, J. **Avaliação dos principais aspectos da fitorremediação aplicados na redução da poluição no solo e água.** Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 2, abr./jun. 2011, p. 182-192. Pdf.