

Desertificação e metais pesados: mecanismos para recuperação de áreas degradadas

Desertification and heavy metals: mechanisms for the recovery of degraded areas

GUIRRA, Bruno Silva¹

SOUZA, José Augusto Santos de²

AMARAL, Henrique Gribler de³

SALES, Wander Almeida⁴

Resumo: A desertificação acontece em decorrência de ações naturais e pode ser intensificada por ações antrópicas, o que ocasiona vários problemas de ordem ambiental e afeta diretamente o solo, o ciclo hidrológico e a biodiversidade, principalmente a fauna e flora. Além dos impactos ambientais, a desertificação acarreta problemas de cunhos sociais e econômicos, uma vez que a improdutividade das terras acomete a geração de renda de famílias que dependem destas para tirar o seu sustento. É pertinente salientar que os impactos socioambientais também estão associados com a expansão do agronegócio, a industrialização e a mineração, que são atividades econômicas que lançam poluentes de natureza diversa no ambiente, como por exemplo, os metais pesados, que por ora também são causadores de desertificação em solos que um dia foram agricultáveis. Como soluções paliativas para mitigar o efeito da degradação ambiental, tem-se utilizado a regeneração natural, quando os impactos ambientais não são intensos, e em casos de degradação mais branda e prejuízos mais severos, é recomendada a implementação de sistema agroflorestal, pois permite a interação de floresta com culturas agrícolas e ainda a criação de rebanhos em sistemas agrossilvipastoris. No caso de desertificação por metais pesados existem diversas técnicas, a exemplo das escavações e aterramentos, que objetivam imobilizar o poluente e torná-lo menos disponível no solo. Outra técnica é a fitorremediação, que faz uso de plantas especializadas em absorver metais pesados, através das raízes e, compartimentalizarem em suas partes vegetativas, posteriormente realizando-se a destinação adequada de acordo a toxicidade do poluente.

Palavras-chave: Degradação ambiental; Sistema agroflorestal; Fitorremediação.

1 Licenciado em Ciências Agrárias pelo Instituto Federal Baiano-Campus Senhor do Bonfim (2015). Graduando em Engenharia Agrônoma pelo Instituto Federal Baiano-Campus Bom Jesus da Lapa. Especialista em Educação Ambiental e Sustentabilidade pela Universidade Cândido Mendes (2016). Mestre em Ciências Florestais pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte(2020). Doutorando no Programa em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba. E-mail: bguirra@hotmail.com

2 Graduando em Engenharia Agrônoma pelo Instituto Federal Baiano Campus Bom Jesus da Lapa. E-mail: augusto8630@gmail.com

3 Graduando em Engenharia Agrônoma pelo Instituto Federal Baiano Campus Bom Jesus da Lapa. E-mail: henriquegribler@hotmail.com

4 Graduando em Engenharia Agrônoma pelo Instituto Federal Baiano Campus Bom Jesus da Lapa. E-mail: wandersales1010@gmail.com

Abstract: The Desertification occurs as a result of natural actions and can be intensified by anthropic actions, which causes several environmental problems and directly affects the soil, the hydrological cycle and biodiversity, especially the fauna and flora. In addition to the environmental impacts, desertification entails social and economic problems, since the unproductiveness of land affects the income generation of families that depend on them to make a living. It's pertinent to point out that the social and environmental impacts are also associated with the expansion of agribusiness, industrialization and mining, which are economic activities that release pollutants of a different nature into the environment, such as heavy metals, which for now are also the cause of desertification in soils that were once arable. As palliative solutions to mitigate the effect of environmental degradation, natural regeneration has been used, when the environmental impacts are not intense, and in cases of milder degradation and more severe damage, the implementation of an agroforestry system is recommended, as it allows the interaction of forest with agricultural crops and the creation of herds in agroforestry systems. In the case of desertification by heavy metals, there are several techniques, such as excavations and landfills, which aim to immobilize the pollutant and make it less available in the soil. Another technique is phytoremediation, which makes use of plants specialized in absorbing heavy metals through the roots and compartmentalizing them in their vegetative parts, later carrying out the appropriate destination according to the pollutant's toxicity.

Key words: Ambiental degradation; Agroforestry system; Fitorremediation.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, nas últimas décadas, alguns problemas ambientais têm se tornado destaque, principalmente aqueles que se relacionam com a desertificação e a degradação de solos por metais pesados.

O fenômeno da desertificação é conceituado como um processo de destruição do potencial produtivo da terra, sendo resultante de vários fatores, incluindo aqueles causados por variações climáticas e atividades humanas, associadas, principalmente, ao uso inadequado dos solos, da água e da vegetação, que provocam a degradação de ecossistemas frágeis, cuja capacidade de regeneração é baixa (SÁ e ANGELOTTI, 2009).

O manejo inadequado de ambientes semiáridos contribui diretamente na intensificação do processo de desertificação, principalmente em localidades que apresentam maior vulnerabilidade ou ativação mais acentuada da exploração dos recursos naturais. Diante disto, o processo de desertificação é consequência de uma

relação direta entre fatores edafoclimáticos e mecanismos de manejo do Bioma Caatinga (PEREIRA *et al.*, 2020).

Quando a desertificação se relaciona as ações antrópicas, acontecem principalmente pelo desmatamento, extração desordenada de produtos florestais, incêndios, manejo inadequado do solo, emprego de técnicas de cultivo agrícola inadequadas às características do ecossistema, entre outros fatores. Em relação às condições climáticas relacionadas ao processo de desertificação destacam-se as frequentes e demoradas secas que afetam esta região, tornando ainda mais drásticas as consequências das atividades humanas (SÁ *et al.*, 2010).

Outro problema que permeia a degradação ambiental está diretamente associado com a contaminação de metais pesados no solo. O uso excessivo de agroquímicos, como também a disposição inadequada de resíduos urbanos e industriais tem sido apontados como as principais causas na alteração da disponibilidade natural dos metais pesados e, conseqüentemente, tem favorecido a contaminação de solos, cursos de água e lençol freático (FREITAS *et al.*, 2020).

Os danos causados pelos metais pesados à saúde são imensos, dependendo da quantidade e da duração de exposição aos mesmos (WELDEMARIAM e KAHSAY, 2014). Além dos riscos de contaminação para a saúde humana, os metais podem desencadear estresse abiótico nas plantas, que conseqüentemente levam a perdas de produtividade (ALVES, 2016).

Neste contexto, objetivou-se, através de revisão de literatura, conceituar a desertificação, apresentando causas e consequências, bem como, caracterizar metais pesados e suas influências na degradação ambiental. Além disso, pretende-se discutir a respeito de técnicas usadas para mitigar o efeito degradante da desertificação e dos metais pesados no solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 FENÔMENO DA DESERTIFICAÇÃO: CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS

O fenômeno da desertificação tem sido bastante estudado nos últimos anos, embora questionado sobre sua real definição, seu conceito é capaz de trazer para

discussão os problemas associados à degradação ambiental. Assim, caracteriza-se desertificação como um processo de destruição do potencial produtivo da terra, resultante de vários fatores, incluindo aqueles causados por variações climáticas e atividades humanas ligadas ao uso inadequado dos recursos naturais, o que leva a perda da qualidade produtiva em zonas áridas, semiáridas e subúmidas (SÁ *et al.*, 2010).

No Brasil, esse fenômeno tem se destacado como um grave problema ambiental, promovendo a degradação de ecossistemas frágeis, cuja capacidade de regeneração é baixa (SÁ e ANGELOTTI, 2009). No semiárido brasileiro esse processo se origina da sensibilidade natural do ambiente, marcada por uma dinâmica atmosférica que persiste na irregularidade de chuvas, alta evapotranspiração e a ocorrência de secas, além da pressão intensa de atividades humanas sobre este ecossistema, a exemplo do desmatamento, utilização de técnicas agropecuárias impróprias, queimadas, mineração e uso excessivo de agrotóxicos (ALBUQUERQUE *et al.*, 2021)

Apresentando causas humanas ou naturais, a desertificação se constitui como um processo intenso de alteração ambiental, que em alguns locais no semiárido baiano, está em estágio bastante avançado, com grandes áreas desnudas e/ou com cobertura vegetal rala, além de sinais intensos de erosão, o que caracteriza assim, o famoso núcleo de desertificação (Figura 1A e 1B).

Figura 1 - Marcas de erosão linear na comunidade de Poço da Pedra em Campo Formoso-BA. A - Ravina em estágio avançado; B - Voçoroca.



Fonte: Autor

A erosão é um fenômeno complexo, que é considerada como sendo a mais grave das causas de degradação dos solos do semiárido Nordestino, devido sua irreversibilidade. A mesma acontece a partir da interação entre fatores controladores como a chuva, as propriedades do solo, as características da topografia, cobertura vegetal e pela agricultura praticada em áreas de declividade alta e sem qualquer medida de prevenção (SAMPAIO *et al.*, 2005). Os autores ainda enfatizaram que, muitas das vezes, a erosão dos solos no semiárido brasileiro reduz intensamente sua fertilidade, capacidade de produção vegetal e a manutenção do equilíbrio ambiental, comprometendo a capacidade de regeneração do sistema ecológico, caracterizando o estágio inicial do processo de desertificação.

A problemática da desertificação traz consigo consequências das mais diversas e severas, tanto de ordem ambiental como social, enquanto de um lado compromete diretamente a biodiversidade, reduz a disponibilidade hídrica, leva a perda da qualidade físico-químicas dos solos, em outra ótica, este fenômeno provoca aumento da vulnerabilidade dos grupos sociais que dependente diretamente dos recursos naturais, isto porque as terras se tornam inférteis e improdutivas (ALBUQUERQUE *et al.*, 2021).

Em entrevista para o site Ecodebate, o pesquisador Iêdo de Sá declarou que as áreas susceptíveis à desertificação no Brasil estão localizadas entre o Norte de Minas e mais oito estados da região Nordeste, abrangendo mais de 1,26 milhões de km² dispersos em 1440 municípios (FACHIN e CHAVES, 2015).

Diante deste cenário de redução contínua da superfície de terras agricultáveis, há o comprometimento da produção de alimentos e das atividades ligadas ao campo, o que faz a população desses locais migrarem para novos territórios em busca da sobrevivência (ALBUQUERQUE *et al.*, 2020). Vale frisar que nas áreas em processo de desertificação existe uma alta incidência de pobreza, além do aumento das doenças devido à falta de água potável e subnutrição (SÁ *et al.*, 2010).

Nota-se, com isso, que o fenômeno da desertificação possui característica multidisciplinar, envolvendo diversos elementos humanos e naturais, assim como elementos extraídos da relação entre a sociedade e a natureza, daí sua intrínseca complexidade (SÁ e ANGELOTTI, 2009).

2.1.1 Recuperação de área degradada e em processo de desertificação

Durante a Conferência das Nações Unidas sobre a Desertificação (UNCCD), estabelecida em 1994, foi introduzida uma abordagem inovadora no combate à desertificação que focava ao mesmo tempo em processos socioeconômicos e naturais, bem como, na participação civil das partes envolvidas no problema. Essa abordagem foi inspirada pelo conceito de desenvolvimento sustentável e pelas novas percepções sobre as ligações entre desertificação, degradação ambiental e pobreza (BARROS e BARBOSA, 2015).

A tentativa de aplicação da UNCCD só aconteceu no Brasil dez anos após, no ano 2004, através da criação do Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAN-Brasil), que estabelece 35 indicadores de desertificação abordando diversos temas de caráter natural, social e econômico, de uso e ocupação, devastação da cobertura vegetal, degradação dos solos, qualidade e disponibilidade dos recursos, além da gestão democrática e fortalecimento institucional (TRAVASSOS *et al.*, 2013).

Dentre as estratégias que vêm sendo adotadas para a recuperação de áreas em processo de desertificação, uma se refere à regeneração natural do ambiente, onde seu princípio se baseia numa técnica simples e mais barata. No entanto, regeneração natural e o grau de sua expressão dependem de fatores locais como o nível de degradação do solo e do banco de sementes local, bem como da proximidade com remanescentes naturais de vegetação e da existência de fluxo de propágulos entre esses remanescentes e a área a ser restaurada (VIEIRA *et al.*, 2021). Contudo, caso haja maior isolamento de fragmentação florestal, o fluxo de materiais de propagação torna-se muito menos provável, o que necessita da adoção de intervenções artificiais (NAVE *et al.*, 2016).

Outra estratégia que merece ser relatada é a Nucleação, esta que objetiva criar pequenos habitats dentro da área degradada, assim, induzindo a formação de ambientes distintos no espaço e no tempo. Os núcleos facilitam o processo de recrutamento de novas espécies dos fragmentos vizinhos, do banco de sementes local e influenciam os novos núcleos formados ao longo do tempo. Estes são

capazes de formar novas populações, novos nichos de regeneração e gerar conectividade na paisagem (SANTOS, 2018).

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) também se apresentam como alternativas potenciais no objetivo de recuperar os recursos naturais, através do aumento da biodiversidade conjugada com uso de práticas conservacionista de produção agrícola, florestal e pecuária (Figura 2). A função do manejo agroflorestal é permitir que os indivíduos animais e vegetais ocupem o ambiente e contribuam para a restauração ecológica, ao mesmo tempo em que o ecossistema possa produzir alimentos e outros produtos (LÔBO *et al.*, 2021).

Figura 2 - Agricultor agroflorestal Vilmar Lermen. Sítio Serra dos Paus Dóias - Exu/PE.



Fonte: GONÇALVES, 2016, p. 28.

Os SAFs podem proporcionar diversos benefícios socioambientais, a exemplo da proteção e aumento da biodiversidade, mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, regulação do ciclo hidrológico, controle da erosão e do assoreamento, ciclagem de nutrientes e, com isso, melhoria da fertilidade do solo (MICCOLIS *et al.*, 2016).

2.2 METAIS PESADOS E SUAS IMPLICAÇÕES NO PROCESSO DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

Os metais pesados são componentes naturais encontrados na crosta terrestre e incorporados aos organismos vivos através dos alimentos, da água e do ar. A

ocorrência acontece de acordo com o material de origem sobre o qual o solo se formou e dos seus processos de formação (LU *et al.*, 2012). Assim, solos muito intemperizados tendem a apresentar maiores concentrações de metais, devido à sua acumulação e persistência no solo, diferenciando-se dos compostos orgânicos tóxicos, que podem ser integralmente não-degradáveis, acumulam-se nos compartimentos ambientais onde demonstram sua toxicidade (BAIRD e CANN, 2011).

Embora alguns metais como Chumbo (Pb), Mercúrio (Mg), Cadmio (Cd) sejam prejudiciais, outros são indispensáveis para que os organismos completem o seu ciclo de vida, a exemplo do Ferro (Fe), Zinco (Zn), Cobre (Cu) e Manganês (Mn), no entanto, vale salientar que se fornecido em excesso são prejudiciais ou até mesmo letais (CHU, 2018).

Sabe-se que no solo, na maioria das vezes, os metais pesados estão presentes em concentrações ou formas que não oferecem risco para o ambiente. Todavia, devido as atividades humanas, tem contribuído para intensificação das concentrações em muitos dos ecossistemas naturais (COGO *et al.*, 2020). Dentre as atividades que apresentam fonte potencial, destacam-se as deposições de rejeitos da mineração, que inclusive afeta diretamente as atividades microbianas no solo (CORSTANJE *et al.*, 2007; ALAMGIR *et al.*, 2015). A ação tóxica dos metais sobre os microrganismos do solo inibe a atividade microbiana e altera a diversidade de suas comunidades (HINOJOSA *et al.*, 2004).

A agricultura com adoção cada vez mais intensiva de fertilizantes e agrotóxicos a fim de maximizar a produtividade das plantas, também tem se tornado uma fonte potencial de contaminação por metais pesado de extensas faixas de solo e de diversas fontes de água (ADIMALLA *et al.*, 2019).

Outras atividades que impactam o ambiente, a partir de metais pesados, são as indústrias, as quais geram toneladas de resíduos anualmente. Em alguns casos, os materiais são reaproveitados, mas, em sua maioria, são eliminados no ambiente, resultando em contaminações de diversos recursos naturais, como reservatórios de abastecimento humano de água e mananciais (SAEED *et al.*, 2017).

O excesso de metais pesados no ambiente provoca graves danos ecológicos (contaminação acontece de maneira inodora), além de implicar em bioacumulação,

dessa forma, esses elementos se concentram ao longo dos níveis tróficos da cadeia alimentar, portanto, sendo considerado um grupo bastante poluente (VARDHAN *et al.*, 2019).

Estes resíduos lançados no ambiente geram muitas implicações à saúde humana, pois podem acarretar danos oxidativos nas células, consequentemente implicando na ação neurológica, carcinogênica, teratogênica e danos ósseos (ABDEL-WAHAB *et al.*, 2018). Os metais pesados limitam atividades proteicas e enzimáticas, além de agirem na expressão de DNA e a homeostase dos sistemas, isto devido as vias de sinalização (KIM *et al.*, 2019).

2.2.1 Recuperação de área degradada por metais pesados

Para o tratamento do solo contaminado por metais pesados existem várias técnicas (escavações, aterramento de solo, tratamento térmico e atenuação natural), em sua maioria, a ação acontece a partir da imobilização destes elementos, tornando-os menos disponíveis no solo (ESTRELA *et al.*, 2018). Contudo, estas formas de tratamento carecem de grande disponibilidade de recursos financeiros e maior tempo de execução.

Assim, na busca de alternativas que apresentasse eficiência na descontaminação, simplicidade na execução, menor tempo demandado pelo processo e menor custo, pesquisadores começaram a usufruir da técnica de fitorremediação (VIANA, 2011). Esta consiste no emprego de plantas com o objetivo de remover, transferir, estabilizar os teores de contaminantes a níveis seguros, visando à proteção à saúde humana, flora e fauna e de todo um ecossistema. Este método pode ser aplicado no solo, água e ar (ANDRADE *et al.*, 2007).

As plantas removem estes metais pesados do solo através do sistema radicular. Após a absorção do elemento tóxico, este pode ficar armazenado nas raízes, caule e folhas, e, por conseguinte deve-se realizar a destinação final adequada destas partes, dependendo do tipo de metal e de quais produtos a planta oferece (ALCANTARA, 2017). Além disso, as plantas também podem promover mudanças estruturais químicas no poluente, o tornando pouco nocivo, bem como, transformá-los em gases através do processo de respiração (ITRC, 2009).

Na literatura já foram descritas algumas espécies com potencial de uso em programas de fitorremediação, dentre as quais pode-se citar as do gênero *Phragmites*, *Tamarix*, *Nicotiana*, *Salix*, *Typha* e *Arabis* (AL-TAISAN, 2009). Em estudo realizado por Tavares *et al.* (2013), com objetivo de avaliação de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados, constatou-se que as espécies *Zea mays* e *Helianthus annuus* apresentaram maior potencial de fitorremediação, no qual proporcionaram, respectivamente, redução da concentração do cobre no solo e maior eficiência em translocar os metais cobre e zinco para a parte aérea, em comparação com as outras espécies em estudo.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fenômeno da desertificação no cenário global é marcado por diversos desafios, principalmente, com relação ao enfrentamento da problemática. Ainda não existe uma unanimidade no entendimento do fenômeno, contudo, sabe-se que o ser humano, ao longo da história, modifica os recursos e os espaços naturais de forma insustentável, ocasionando a aceleração de processos naturais que desencadeiam a desertificação. Por isso, a mesma é caracterizada como evento multidisciplinar, já que envolve aspectos ambientais, sociais e econômicos.

Com o aumento populacional, aumenta-se também a demanda de bens e serviços tanto industriais como agropecuários. Neste processo, se estas atividades forem desenvolvidas de maneiras inadequadas, podem provocar a contaminação dos recursos hídricos e do solo, uma vez que, fertilizantes agrotóxicos e a descarga de águas residuais industriais, contêm elementos tóxicos, como os metais pesados que possuem caráter de natureza persistente e não biodegradável. Quando em excesso no solo, os metais pesados podem desencadear diversos problemas na biodiversidade, além de inutilizar o solo para fins agrícolas, que é característica inerente de área desertificada.

Diante deste cenário, assim como é importante a escolha de metodologias acessíveis para recuperação de áreas já degradadas, torna-se imprescindível o envolvimento da sociedade nas questões relacionadas à conservação dos remanescentes de ecossistemas naturais, restauração destas áreas, como também

a prevenção para que esta problemática não aconteça. É fundamental a imersão da população nestas pautas para que haja a efetivação dos serviços ambientais prestados em áreas naturais e, de fato, ocorra mitigação do efeito devastador da desertificação. Todavia, é válido salientar que para frear ou até reverter o fenômeno desertificação, também é necessário o envolvimento direto do governo, fomentando pesquisas direcionadas à preservação ambiental.

REFERÊNCIAS

ABDEL-WAHHAB, M.A.; EL-NEKEETY, A.A.; HASSAN, N.S.; GIBRIEL, A.A.; ABDELWAHHAB, K.G. Encapsulation of cinnamon essential oil in whey protein enhances the protective effect against single or comined sub-chronic toxicity of fumonisin B1 and/or aflatoxin B1 in rats. **Environ Sci Pollut Res**. v.25, n.29, p. 29144–29161, 2018.

ADIMALLA, N.; QIAN, H.; HANG, H. Assessment of heavy metal (HM) contamination in agricultural soil lands in northern Telangana, India: an approach of spatial distribution and multivariat estatistical analysis. **Environmental monitoring and assessment**. v.191, p.1-15, 2019.

ALAMGIR, M.; ISLAM, M.; HOSSAIN, N.; KIBRIA, M.; RAHMAN, M. Assessment of Heavy Metal Contamination in Urban Soils of Chittagong City, Bangladesh. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 7, p.362–372, 2015.

ALBUQUERQUE, D.S.; SOUZA, S.D.G.; SOUZA, A.C.N.; SOUSA, M.L.M. Cenário da desertificação no território brasileiro e ações de combate à problemática no estado do Ceará, Nordeste do Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 55, p. 673-696, 2020.

ALBUQUERQUE, F.N.B.; SILVA, V.A.; SILVA, L.S. O fenômeno Global da Desertificação nos livros Didáticos de Geografia no Brasil. **Revista Ensino de Geografia**, v. 4, n. 1, p.69-91, 2021.

ALCANTARA, H.G. **Fitorremediação de solos contaminados por metais pesados**.2017.46f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, PR, 2017.

ALVES, L. R. **Impact of heavy metal in agricultural soils and root-to-shoot stress communication**. 2016. 100f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 2016.

ANDRADE, J. C. M; TAVARES, S. R. L; MAHLER, C. F. Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental., 2007. São Paulo. **Oficina de Textos**. p.176, 2007.

AL-TAISAN. Suitability of Using *Phragmites australis* and *Tamarix aphylla* as Vegetation Filters in Industrial Areas. **American Journal Of Environmental Sciences**, v. 5, n. 6, p. 740-747, 2009.

BARROS, A. P.; BARBOSA, M. P. Governança e sustentabilidade institucional das políticas de combate à desertificação no Brasil: uma análise comparativa com as instituições e processos globais da Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 5, p. 1470-1481, 2015.

BAIRD, C., CANN, M. **Química Ambiental**. 4ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

CHU, D. Effects of heavy metals on soil microbial community. Iop Conference Series: **Earth and Environmental Science**, v. 113, p. 1-5, 2018.

COGO, M. M. R.; LOPES, A. M.; VIELMO, P. G. Capacidade de absorção, distribuição e efeitos morfológicos causados por cádmio em plantas. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, p. 56, 2020.

CORSTANJE, R.; SCHULIN, R.; LARK, R. Scale-dependent relationships between soil organic carbon and urease activity. **European Journal of Soil Science**. v.58, p. 1087-1095, 2007.

ESTRELA. M.A.; CHAVES, L.H.G.; SILVA, L.N. Fitorremediação como solução para solos contaminados por metais pesados. **Revista Ceuma Perspectivas**, v. 31, 2018.

FREITAS, D.A.; SOUSA, I. P.; COUTINHO, M.N.; ALVARENGA, A.C. Efeito dos metais pesados cobre e cromo no solo: germinação e desenvolvimento inicial de *Myracrodouon urundeuva*. **Brazilian Journal of Development**, v. 3, n. 1, p.162-171, 2020.

GONÇALVES, A.L.R. **Sistemas agroflorestais no Semiárido brasileiro: estratégias para combate à desertificação e enfrentamento às mudanças climáticas**. Recife: Centro Sabiá/ Caatinga, 2016.

HINOJOSA, M.B.; CARREIRA, J.A.; RUIZ, R.G.; DICK, R.P. Soil moisture pre-treatment effects on enzyme activities as indicators of heavy metalcontaminated and reclaimed soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v.36, p.1559–1568, 2004.

ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council). **Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance and Decision Trees**, Revised. PHYTO-3. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, Phytotechnologies Team, Tech Reg Update, 2009.

KIM, S.; CHEN, J.; CHENG, T.; GINDULYTE, A.; HE, J.; HE, S.; LI, Q.; SHOEMAKER, B.A.; THIESSEN, P.A.; YU, B. et al. PubChem 2019 update: improved access to chemical data. **Nucleic Acids Res.**, v.47, p.1102–1109, 2019.

LÔBO, R. L.L.; SIQUEIRA, T.M.V.; MARTINS, E.S.; LIMA, A.S.T.; CUNHA, A. C.M.C.M. Sistemas agroflorestais na recuperação de áreas degradadas. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.4, p. 38127-38142,2021.

LU, A.; WANG, J.; QIN, X.; WANG, K.; HAN, P.; ZHANG, S. Multivariate and geostatistical analyses of the spatial distribution and origin of heavy metals in the 4 agricultural soils in Shunyi, Beijing, China. **Science of the Total Environment**, v. 425, p. 66–74, 2012.

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F.M.; MARQUES, H. R.; VIEIRA, D. L. M.; ARCOVERDE, M. F. et al. **Restauração ecológica com sistemas agroflorestais: como conciliar conservação com produção**. Embrapa Cerrados - Livro técnico, Brasília, DF: Instituto Sociedade, População e Natureza, 2016.

NAVE, A. G.; RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; FARAH, F. T.; SILVA, C. C.; LAMONATO, F. H. F. **Manual de Restauração Ecológica**. Execução: Bioflora Tecnologia da Restauração. Bahia, 2016. 55 p.

PEREIRA, A.J.; OLIVEIRA-JUNIOR, I.; LOBÃO, J.S.B. Análise da susceptibilidade à desertificação em ambiente de caatinga. **Geo Uerj**, n. 37, p. 1-19, 2020.

SAEED, M.F.; SHAHEEN, M.; AHMAD, I.; ZAKIR, A.; NADEEM, M.; CHISHTI, A.A.; SHAHID, M.; BAKHSH, K.; DAMALAS, C.A. Pesticide exposure in the local community of Vehari District in Pakistan: An assessment of knowledge and residues in human blood. **Sci. Total Environ.** p. 137–144, 2017.

SÁ, I. B.; CUNHA, T.J.F.; TEIXEIRA, A.H.C.; ANGELOTTI, F.; DRUMOND, M.A. **Processos de desertificação no semiárido brasileiro**. In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. (Org.) *Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação*. Petrolina-PE: Embrapa Semiárido; Campinas-SP: Embrapa Informática Agropecuária, 2010. p. 125 – 158.

SÁ, I. B.; ANGELOTTI, F. *Degradação ambiental e desertificação no semi-árido brasileiro*. In: ANGELOTTI, F.; SÁ, I. B.; MENESES, E. A.; PELEGRINO, G. Q. (Org.). *Mudanças climáticas e desertificação no semi-árido brasileiro*. Petrolina – PE: EMBRAPA, 2009. p. 53-63.

FACHIN, P.; CHAVES, L. **Desmatamento da Caatinga tem intensificado a desertificação do semiárido brasileiro**. *Ecodebate, 2015 Entrevista com Lêdo Bezerra de Sá, 2015*. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2015/07/29/desmatamento-da-caatinga-tem-intensificado-a-desertificacao-do-semiarido-brasileiro-entrevista-com-ledo-bezerra-de-sa/>>. Acesso em: 16/07/2021.

SAMPAIO, E. V.S.B.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia**, v. 22, n. 1, p. 90-112, 2005.

- SANTOS, E.A. V. **Desenvolvimento de métodos de nucleação com mix de plantas xerófilas para recuperação de áreas em processo de desertificação.** 2018.76f. Monografia (Especialização - Gestão em Recursos Ambientais do Semiárido) – Instituto Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, Picuí, PB, 2018.
- TAVARES, S. R. L.; OLIVEIRA, S. A.; SALGADO, C. M. Avaliação de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados. **HOLOS**, v. 5, pp. 80-97, 2013
- TRAVASSOS, I. S.; SOUZA, B. I.; SILVA, A. B. Secas, desertificação e políticas públicas no Semiárido Nordeste Brasileiro. *Revista OKARA: Geografia em debate*, v. 7, n. 1, p. 147-164, 2013.
- VARDHAN, K. H.; KUMAR, P. S.; PANDA, R. C. A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. **Journal of Molecular Liquids**, v. 290, 2019.
- VIANA, E.M. **Fitoextração em solo contaminado com metais pesados.** 2011. 135 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2011.
- VIEIRA, J.S.; CAVALCANTE, U.R.; DIAS, J. P.T. **Recuperação de áreas degradadas com frutíferas nativas.** In: DIAS, T.J.P.; MATA, J.F. Cultivo de frutíferas em clima tropical. Campina Grande: EPTEC, 2021. p.103-113.
- WELDEMARIAM, M. M.; KAHSAY, A. W. Heavy Metal (Pb, Cd, Zn, Cu, Cr and Fe) Content in Alameda Textile Industry's large Northern Tigray Ethiopia. **International Journal of Scientific and Research Publications**, v. 4, n.1, p. 1-3, 2014.