

CONTEXTO DA REMEDIAÇÃO SUSTENTÁVEL EM PAÍSES DESENVOLVIDOS E EM DESENVOLVIMENTO: ESTUDO DE CASO NO BRASIL

Adeli Beatriz Braun

Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de
Passo Fundo.

adelibeatrizbraun@hotmail.com

Adan William da Silva Trentin

Doutorando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de
Passo Fundo.

adan_trentin@hotmail.com

Caroline Visentin

Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de
Passo Fundo.

caroline.visentin.rs@gmail.com

Antônio Thomé

Professor na Universidade de Passo Fundo.

thome@upf.br

Resumo. *Este artigo tem como objetivo apresentar e analisar as características e tendências da abordagem da remediação sustentável em países desenvolvidos e em desenvolvimento, com ênfase no caso do Brasil. A discussão foi realizada através de uma contextualização da remediação sustentável. Em seguida, foram apresentadas e analisadas abordagens de remediação sustentável em países desenvolvidos e em desenvolvimento. E por fim, foi analisada a estrutura regulamentar brasileira em direção à remediação sustentável. Verificou-se que a remediação sustentável é de grande importância e que muitos avanços foram feitos. No entanto, a aplicação dos seus conceitos ainda está em processo de adaptação, especialmente em países em desenvolvimento. No Brasil, ao mesmo tempo em que se verifica que a estrutura regulatória focada no manejo de áreas contaminadas é relativamente recente, as considerações de sustentabilidade nesse contexto são quase inexistentes.*

Palavras-chave: *Gerenciamento de áreas contaminadas. Sustentabilidade. Regulamentação.*

1. INTRODUÇÃO

O fator mais importante da condução de um processo de remediação é o fato de que os locais contaminados podem trazer sérias consequências para a saúde humana e para o meio ambiente. No entanto, já existe um amplo entendimento de que a remediação não é inerentemente sustentável (BARDOS et al., 2002; HOU et al., 2017).

Nesse sentido, a forma como a gestão das áreas contaminadas vem sendo realizada tem sido marcada por algumas mudanças nos últimos anos. Desde o início dos anos 2000, o interesse em incorporar a sustentabilidade nesse contexto da remediação aumentou por meio da disseminação do termo "remediação sustentável" (POLLARD et al., 2004; RIZZO et al., 2016).

A remediação sustentável vem ganhando importância gradualmente, sendo sua disseminação recente e crescente (POLLARD et al. 2004). Sua abordagem vem atraindo considerável atenção de organizações governamentais, indústrias, reguladores, profissionais da área, pesquisadores e acadêmicos em geral. Contudo, por representar um conceito relativamente novo, a sua efetiva incorporação dentro do gerenciamento de áreas contaminadas ainda enfrenta grandes desafios (POLLARD et al., 2004; BARDOS et al., 2011; HARCLERODE et al., 2015; REDDY; ADAMS 2015; HOU et al., 2016; HOU et al., 2017; BARDOS et al., 2018; HOU et al., 2018; SONG et al., 2018).

Nos países em desenvolvimento, a remediação sustentável não tem recebido muita atenção, tanto no ambiente acadêmico, em relação às publicações no campo, quanto no contexto prático, como pode ser detectado mais adiante neste artigo. Segundo Diaz-Sarachaga et al. (2017), o desenvolvimento sustentável nos países em desenvolvimento requer diretrizes e estruturas eficazes para assegurar uma análise equilibrada das dimensões social, econômica e ambiental, e neste caso, as questões sociais e econômicas devem prevalecer sobre as preocupações ambientais para garantir a realização da sustentabilidade objetivos.

Isso sugere que é possível melhorar e aprofundar os estudos, porque, embora algumas revisões envolvendo remediação sustentável tenham sido publicadas (HUYSEGOMS; CAPPUYNS, 2017; BARDOS et al., 2018; O'CONNOR; HOU, 2018), ainda não há resenhas específicas concentradas em discutir e analisar mais claramente o contexto da remediação sustentável nos países em desenvolvimento, incluindo a abordagem não específica do Brasil nesse contexto.

Tendo em vista as considerações acima, este trabalho tem por objetivo apresentar e

analisar as características e tendências da abordagem da remediação sustentável em países desenvolvidos e em desenvolvimento, com ênfase no caso do Brasil. Esta discussão inclui principalmente as características, tendências e diferenças na abordagem da remediação sustentável em países desenvolvidos e em desenvolvimento, trazendo o contexto específico do Brasil como estudo de caso.

2. REMEDIAÇÃO SUSTENTÁVEL

A remediação sustentável tem o objetivo amplo de reduzir impactos ambientais, econômicos e sociais, bem como maximizar os benefícios nessas três dimensões em uma abordagem de longo prazo para a aplicação de uma técnica de remediação (Figura 1) (CUNDY et al. 2013; HOLLAND et al. 2011).

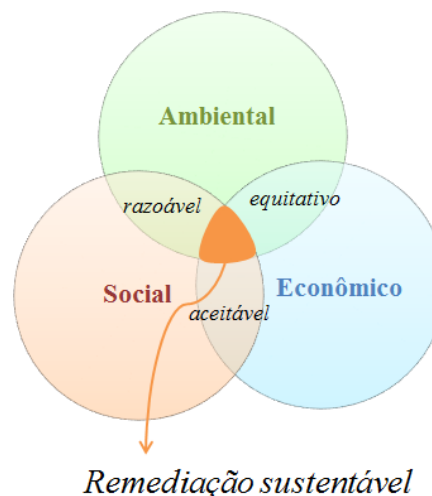


Figura 1. Pilares da remediação sustentável.

Portanto, a remediação sustentável busca otimizar a seleção das atividades de remediação, promovendo o uso de práticas mais sustentáveis, a fim de alcançar um benefício global para garantir a proteção da saúde humana e do meio ambiente (HOLLAND, 2011; BARDOS, 2014; HOU et al., 2014; HADLEY; HARCLERODE, 2015;

BARDOS et al., 2016). Os princípios e práticas de remediação sustentável podem ajudar a reduzir o impacto de um projeto específico, bem como aumentar seu benefício líquido geral (FORUM, 2009).

Considerações de sustentabilidade são cada vez mais importantes no gerenciamento de áreas contaminadas, de modo que os aspectos ambientais e socioeconômicos associados aos locais contaminados e a aplicação dos processos de remediação sejam considerados, incluindo os efeitos sobre as pessoas que vivem dentro e ao redor das localidades (SMITH; KERRISON, 2013; YASUTAKA et al., 2016). Portanto, considerar o risco total em um contexto geográfico e temporal mais amplo dos processos de remediação; garantir que os impactos não superem os benefícios da aplicação das técnicas de remediação; e encontrar o equilíbrio certo entre os aspectos ambientais, sociais e econômicos e incorporá-los na abordagem de manejo de áreas contaminadas, são alguns dos aspectos que definem a sustentabilidade geral de um projeto específico de remediação (DIAMOND et al., 1999; BARDOS et al., 2002; REINIKAINEN et al., 2016).

3. REMEDIAÇÃO SUSTENTÁVEL EM PAÍSES DESENVOLVIDOS E EM DESENVOLVIMENTO

Nos países desenvolvidos da Europa e da América do Norte, como por exemplo, o Reino Unido, os Países Baixos, os Estados Unidos e o Canadá, já possuem abordagens e políticas bem estabelecidas para avaliar, gerenciar e remediar áreas contaminadas e até mesmo implementadas. Da mesma forma, esses países já possuem altas taxas de conscientização e adoção de remediação sustentável, e a lacuna entre consciência pessoal e consciência nacional é relativamente pequena (HOU et al., 2014; HOU et al., 2016;

ESPANA et al., 2018). A facilidade de adoção de práticas de remediação sustentável nesses países deve-se em grande parte ao funcionamento de um sistema de gestão relativamente eficaz, desenvolvido a partir de práticas de longa data, e o equilíbrio entre a necessidade de garantir a saúde humana e dos sistemas ecológicos, o que também facilita a adoção de práticas de remediação sustentável (LUO et al., 2009).

Em contrapartida, os países em desenvolvimento ainda precisam de mais reflexão e iniciativa para responder à contaminação de suas áreas, especialmente no que diz respeito ao cumprimento de padrões internacionais nesse contexto e à disponibilidade de legislação apropriada para o gerenciamento e remediação eficazes. Da mesma forma, além de menos conscientes, também apresentam baixos índices de adoção de sustentabilidade na remediação de locais contaminados (HOU et al., 2014, HOU et al., 2016, ESPANA et al., 2018).

Como na prática, no cenário científico, essas diferenças também são bastante evidentes. Utilizando a base de dados Scopus do Instituto de Informação Científica (ISI) até a última pesquisa realizada em 12 de abril de 2019, os Estados Unidos possuem o maior número de publicações no campo da remediação sustentável, aproximadamente 37% do total, segundo a Figura 2. No ranking dos 10 melhores países no campo da remediação sustentável, apenas a China é um país em desenvolvimento, embora o crescimento econômico nos últimos anos seja claro, o desenvolvimento social ainda tem grandes deficiências.

Atualmente a China está ativamente envolvida no desenvolvimento e implementação de decisões regulatórias para o gerenciamento de locais contaminados. Além de destacar-se em diversos estudos, inclusive recentes, em relação a abordagem da remediação sustentável (ZHENG et al., 2019).

Segundo Song et al. (2018), a China se apresenta com um dos maiores mercados de remediação do mundo e, com base nos avanços da remediação sustentável, busca adotar esses princípios nos projetos de remediação do país.

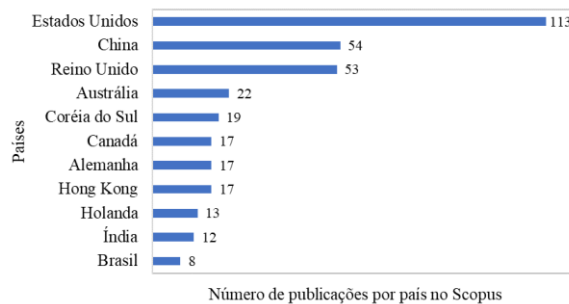


Figura 2. Dez países com o maior número de publicações voltadas para a remediação sustentável e o Brasil

Alguns estudos também trazem em sua abordagem a crescente preocupação com a adoção da remediação sustentável e o comportamento sustentável em diferentes países, como os Estados Unidos e o Reino Unido (YARGICOGU; REDDY, 2013; HOU et al., 2014; HOU et al., 2016); China (GU et al., 2015; HUANG et al., 2016; HOU et al., 2018; SONG et al., 2018); Letônia (TILLA; BLUMBERGA, 2018); Holanda (SLENDERS et al., 2017); Austrália e Nova Zelândia (SMITH; NADEBAUM, 2016); Finlândia (REINIKAINEN et al., 2016); Japão (YASUTAKA et al., 2016); Coreia do Sul (LIM et al., 2016); Alemanha (HELD; NOÉ, 2012); e Noruega (SPARREVIK; BREEDVELDY, 2010).

O Brasil tem apenas oito publicações relacionadas ao assunto com a participação de algum pesquisador do país (TRIPATHI et al., 2015; ALVES et al., 2017; CECCHIN et al., 2017; BRAUN et al., 2019; KIRMIZAKIS et al., 2019; THOMÉ et al., 2019; VISENTIN; THOMÉ, 2019; WU et al., 2019). Contudo nenhum destes estudos aborda a situação da remediação sustentável no país. Uma situação

que se deve em grande parte ao fato do Brasil ainda não ter uma abordagem concisa em relação à remediação sustentável em seu contexto regulatório sobre o manejo de áreas contaminadas.

O Brasil corresponde ao maior país da América do Sul com uma extensão territorial de 8.515.767,049 Km² e uma população que ultrapassa os 200 milhões de habitantes, além de ser composto por 27 estados federativos, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O Brasil é marcado pela diversidade territorial e cultural, o patrimônio natural que detêm, mas também pelas grandes desigualdades socioeconômicas existentes.

O Brasil corresponde a um país recentemente industrializado, mas que ainda não demonstra sinais plenos de desenvolvimento, sendo, portanto, classificado como um país com economia em desenvolvimento, em função principalmente do seu Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e o Produto Interno Bruto (PIB). Comparando o PIB do Brasil com os Estados Unidos, o qual corresponde em uma das economias mais desenvolvidas do mundo, verifica-se uma grande discrepância entre os valores. Enquanto que nos Estados Unidos, no ano de 2016, o PIB correspondeu a 18,6 trilhões USD, no Brasil este valor era de apenas 1,8 trilhões USD. Da mesma forma, ao fazer uma relação entre o IDH do Brasil e dos Estados Unidos, verifica-se que enquanto no Brasil o valor do IDH permanece na faixa dos 0,7, nos Estados Unidos este valor está em 0,9, muito próximo a 1 que é o valor ideal (UN, 2019a,b).

Estas deficiências e discrepâncias observadas possuem reflexos em vários setores, colocando os países desenvolvidos sempre um passo à frente, seja no incentivo a pesquisa, efetividade das legislações, financiamento e capacitação, inclusive no que tange o gerenciamento de áreas contaminadas.

4. ESTRUTURA REGULAMENTAR PARA A REMEDIAÇÃO SUSTENTÁVEL NO BRASIL

No Brasil, como em outros países em desenvolvimento, o problema das áreas contaminadas começou a ser reconhecido após casos emblemáticos serem evidenciados. O exemplo brasileiro é o caso das Indústrias Reunidas Matarazzo, localizadas na cidade de São Caetano do Sul, no Estado de São Paulo, onde no ano de 1975, constatou-se uma grave contaminação causada pelo manejo inadequado dos resíduos químicos da empresa. Esse fato desencadeou no Decreto-Lei nº 1.413, de 1975, que dispõe sobre o controle da poluição ambiental causada pelas atividades industriais e define algumas responsabilidades do poder público e diretrizes para a gestão das áreas de risco (BRASIL, 1975).

Desde então, o Brasil tem uma série de políticas públicas que lidam lateralmente com os locais contaminados, como a Constituição Federal de 1988, que inovou com a criação de um único capítulo sobre meio ambiente, além de estabelecer os pilares para disciplinar ações de interesse no Brasil (BRASIL, 1988); Lei Federal nº 6.938, de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação (BRASIL, 1981); Lei Federal nº 10.165 de 2000, que alterou a Lei 6.938 de 1981 (BRASIL, 2000); e a Lei Federal nº 12.305 de 2010, que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

A primeira norma que trata especificamente da contaminação do solo foi publicada em 2000 por meio da Resolução nº 273 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe sobre o licenciamento ambiental de postos de combustíveis. Esta lei foi emitida à luz da possibilidade de que vazamentos de derivados de petróleo e outros combustíveis possam

causar algum tipo de contaminação (BRASIL, 2001).

No entanto, apenas em 2009, o Brasil publicou sua principal legislação sobre o assunto com a Resolução CONAMA nº 420. Essa lei consiste até agora na legislação de referência em relação à preocupação com a qualidade do solo, bem como o estabelecimento de diretrizes para prevenção e manejo de áreas contaminadas. Além disso, esta resolução padroniza os procedimentos a serem adotados pelos órgãos ambientais competentes em todos os estados e municípios (BRASIL, 2009).

Além dos esforços em nível nacional, o Brasil possui algumas iniciativas estaduais de alto nível destinadas a gerenciar áreas contaminadas. O pioneiro nesse contexto é a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Em 1993, a CETESB assinou uma parceria de cooperação técnica com o governo alemão por meio da Agência Alemã de Cooperação Técnica (GTZ) para capacitar recursos humanos e desenvolver ferramentas de gestão para locais contaminados, resultando em diversas ações, incluindo a elaboração do Manual de Gestão de Locais Contaminados (CETESB, 2001).

No Brasil, o número total de locais contaminados a nível nacional ainda é desconhecido. Alguns órgãos estaduais do meio ambiente, apenas três dos vinte e sete estados federativos, têm se esforçado para obter esses dados, como a Fundação Ambiental do Estado de Minas Gerais (FEAM), o Instituto Ambiental do Estado do Rio de Janeiro (INEA) e principalmente a CETESB.

Desde 2002, com 255 áreas, a CETESB registrou e divulgou a lista de locais reabilitados, monitorados e contaminados do Estado de São Paulo, sendo a última atualização realizada em 2017 com o registro de 5.942 locais (CETESB, 2017). Este Estado, com a Lei nº 13.777 de 2009, foi o primeiro a

aprovar uma lei específica para locais contaminados no Brasil. Essa lei estabelece diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e do manejo de áreas contaminadas e atualmente é regulamentada pelo Decreto nº 59.263, de 2013 (SÃO PAULO, 2013). Além disso, a CETESB é frequentemente considerada na América do Sul como referência em termos de regulação ambiental.

O Estado de Minas Gerais e a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) também vêm avançando no gerenciamento de áreas contaminadas. Desde 2007, mantém um banco de dados com informações sobre sites suspeitos de contaminação e contaminados no Estado. No primeiro ano foram cadastrados 56 sites, sendo a última atualização realizada em 2018 com o cadastro de 662 sites (FEAM, 2018). Além disso, o Estado do Rio de Janeiro também passou a atuar de forma mais efetiva em relação à questão dos locais contaminados, quando o Instituto Estadual de Meio Ambiente (INEA), em 2013, passou a registrar locais contaminados do Estado, contando com 160 pontos. A última atualização foi feita em 2015, com o cadastro de 328 sites (INEA, 2015).

Em face do marco regulatório brasileiro em relação à gestão de locais contaminados, atualmente não existe um marco legal ou protocolo oficial aplicável à avaliação, mensuração ou condições favoráveis à promoção e implementação de práticas de remediação sustentável. A Lei nº 13.777 de 2009 e a Resolução nº 420 de 2009 mencionam apenas o uso sustentável da terra. O primeiro documento com referência à remediação sustentável e orientação sobre sua abordagem é encontrado no Guia para Elaboração de Planos de Intervenção para o Manejo de Locais Contaminados desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e pelo Banco

Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) (MORAES et al., 2014).

Algumas outras iniciativas surgiram no Brasil. O Fórum de Remediação Sustentável (*Sustainable Remediation Forum*) que possui iniciativas já consolidadas em diversos países do mundo, também possui uma representação no Brasil. O SuRF-Brasil, fundado em 2010 e iniciado em 2011, foi criado com o objetivo de promover e discutir remediação sustentável no contexto de gestão de locais contaminados do país. O Fórum coopera estreitamente com a CETESB por meio de grupos de discussão técnicos e fóruns legislativos para persuadir as políticas regionais e estaduais a incluir considerações de sustentabilidade. No entanto, ainda é muito baseado em redes sociais, organizadas em torno de grupos de discussão, sem estrutura organizacional formal e pouca interação com as indústrias.

A Rede de Locais Industrialmente Contaminados na Europa (*Network for Industrially Contaminated Land in Europe - NICOLE*) estabeleceu desde 2015 uma representação no Brasil, a Rede Latino-Americana de Gerenciamento de Solos e Água. A NICOLE-Brasil mantém seus esforços focados no desenvolvimento do mercado de remediação de solos. Recentemente, em 2016, a NICOLE-Brasil publicou uma dissertação oficial sobre conceitos básicos, avaliação e gerenciamento de sites contaminados no Brasil (NICOLE Brasil, 2016). Além disso, está sendo elaborado um documento que abordará a remediação sustentável aplicada à realidade brasileira.

O Instituto Ekos Brasil, criado em 2001, também promove atividades relacionadas à sustentabilidade e, no ano de 2018, realizou a 11ª Conferência Internacional sobre Remediação Sustentável (SustRem), no Estado de São Paulo, a primeira da América Latina. Esta reunião abordou principalmente ações para mudar as condições sociais,

ambientais e econômicas atuais associadas aos locais contaminados. A Figura 3 exemplifica os principais marcos regulatórios elencados acima.

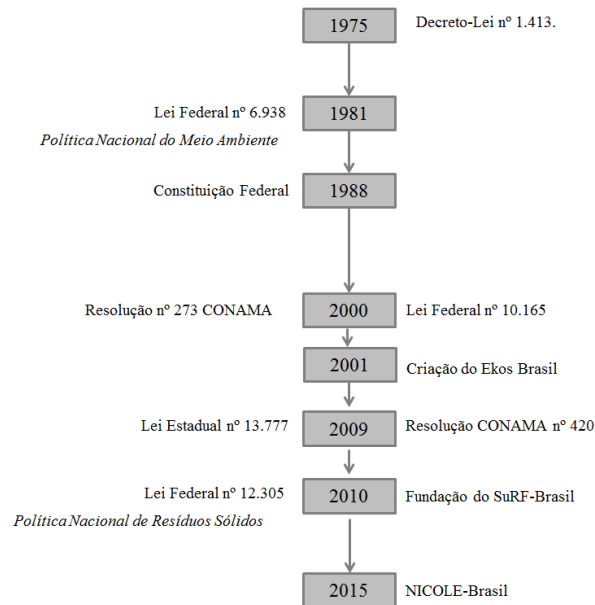


Figura 3. Linha do tempo da estrutura regulamentar do gerenciamento de áreas contaminadas em direção à remediação sustentável no Brasil.

Outro avanço em direção a sustentabilidade é a inserção do Brasil nos relatórios dos dezessete objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS). O Brasil se encontra na 56ª posição dentre os 156 países com indicadores sendo avaliados, apresentando um índice de 69,7, sendo que a Suécia, que se encontra em primeiro lugar, possui um índice de 85,0 pontos. No Brasil, dentre os objetivos, o sete, o qual corresponde a "Energia limpa e acessível", já foi plenamente conquistado, e o objetivo número um, o qual corresponde a "Erradicação da pobreza", se encontra no caminho certo para ser alcançado até 2030 (SACHS et al., 2018).

Contudo, o objetivo quinze que corresponde a "Vida terrestre" e em que está inserido a temática da remediação sustentável está com a pontuação estagnada ou

aumentando menos de 50% da taxa exigida (SACHS et al., 2018). Isto vem a justificar e refletir na pouca importância e visibilidade que o processo de remediação sustentável tem no país, demonstrando que ainda há muitos avanços a serem feitos para que a sua incorporação dentro do gerenciamento de áreas contaminadas seja efetivada.

A aplicação da remediação sustentável no Brasil, parte inicialmente do conhecimento das áreas contaminadas do país, sendo que, atualmente este registro é realizado apenas por três estados. Além disto, o poder público e a indústria da remediação precisam demonstrar maior interesse e tomar iniciativas em direção a um gerenciamento de áreas contaminadas mais eficiente a nível de Brasil e buscar o conhecimento do conceito de remediação sustentável para depois aplicar as soluções mais sustentáveis de remediação.

Agradecimentos

Ao Grupo de Pesquisa em Geotecnia Ambiental e o Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Passo Fundo, e também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pela concessão de bolsas de estudos.

5. REFERÊNCIAS

ALVES, W. S.; MANOEL, E. A.; SANTOS, N. S.; NUNES, R. O.; DOMICIANOA, G. C.; SOARES, M. R. Detection of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in *Medicago sativa* L. by fluorescence microscopy. *Micron*, [s.l.], v. 95, p. 23-30, 2017.

BARDOS; P.; LEWIS; A.; NORTCLIFF; S.; MATIOTTI; C.; MAROT; F.; SULLIVAN, T. **Review of Decision Support Tools for**

Contaminated Land Management, and their Use in Europe. Final report. Áustria: Umweltbundesamt - Federal Environment Agency, on behalf of Contaminated Land Rehabilitation Network for Environmental Technologies (CLARINET), 2002, 192 p.

BARDOS, P.; BONE, B.; BOYLE, R.; ELLIS, D.; EVANS, F.; HARRIES, N. D.; SMITH, J. W. N. Applying Sustainable Development Principles to Contaminated Land Management Using the SuRF-UK Framework. **Remediation Journal**, [s.l.], v. 21, n. 2, p. 77-100, 2011.

BARDOS, P. Progress in Sustainable Remediation. **Remediation Journal**, [s.l.], v. 25, n. 1, p. 23-32, 2014.

BARDOS, R. P.; BONE, B. D.; BOYLE, R.; EVANS, F.; HARRIES, N. D.; HOWARD, T.; SMITH, J. W. N. The rationale for simple approaches for sustainability assessment and management in contaminated land practice. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 563-564, p. 755-768, 2016.

BARDOS, R. P., THOMAS, H. F.; SMITH, J. W. N.; HARRIES, N. D.; EVANS, F.; BOYLE, R.; HOWARD, T.; LEWIS, R.; THOMAS, A. O.; HASLAM, A. The Development and Use of Sustainability Criteria in SuRF-UK's Sustainable Remediation Framework. **Sustainability**, [s.l.], v. 10, n. 6, p. 1781-1803, 2018.

BRASIL. Decreto-Lei nº 1.413, de 31 de julho de 1975. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, ago. 1975.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, ago. 1981.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988, 292 p.

BRASIL. Lei nº 10.165, de 27 de dezembro de 2000. Altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, dez. 2000.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 273, de 29 de novembro de 2000. Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e serviços e dispõe sobre a prevenção e controle da poluição. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, jan. 2001.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, nº 249, p.81-84, dez. 2009.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, ago. 2010.

BRAUN, A. B.; TRENTIN, A. W. da S.; THOMÉ, A. Qualitative Evaluation of Methods Applied to Sustainable Remediation. **Proceedings Of The 8th International Congress On Environmental Geotechnics Volume 3**, [s.l.], p.446-452, 2018.

CECCHIN, I.; REDDY, K. R.; THOME, A.; TESSARO, E. F.; SCHNAID, F. Nanobioremediation: Integration of nanoparticles and bioremediation for sustainable remediation of chlorinated organic

contaminants in soils. **International Biodeterioration & Biodegradation**, [s.l.], v. 119, p.419-428, 2017.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas Projeto CETESB - GTZ Cooperação Técnica Brasil - Alemanha**. 2. ed. São Paulo: CETESB, 2001.

_____. **Relação de áreas contaminadas**. 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacao-de-areas-contaminadas/>. Acesso em: 29 mar. 2019.

CUNDY, A. B.; BARDOS, R. P.; CHURCH, A.; PUSCHENREITER, M.; FRIESL-HANL, W.; MÜLLER, I.; NEU, S.; MENCH, M.; WITTERS, N.; VANGRONSVELD, J. Developing principles of sustainability and stakeholder engagement for “gentle” remediation approaches: The European context. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 129, p.283-291, 2013.

DIAMOND, M. L.; PAGE, C. A.; CAMPBELL, M.; MCKENNA, S.; LALL, R. Life-cycle framework for assessment of site remediation options: method and generic survey. **Environmental Toxicology and Chemistry**, [s.l.], v. 18, n. 4, p. 788–800, 1999.

DIAZ-DIAZ-SARACHAGA, J. M.; JATO-ESPINO, D.; CASTRO-FRESNO, D. Application of the Sustainable Infrastructure Rating System for Developing Countries (SIRSDEC) to a case study. **Environmental Science & Policy**, v. 69, p. 73-80, 2017.

ESPANA, V. A. A, PINILLA, A. R. R, BARDOS, P., NAIDU, R. Contaminated land in Colombia: A critical review of current status and future approach for the management of contaminated sites. **Science of The Total Environment**, [s.l.], v. 618, p. 199-209, 2018.

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DE MINAS GERAIS. **Inventário de áreas contaminadas do estado**

de Minas Gerais. Belo Horizonte-MG: FEAM, 2018.

FORUM, U.S. Sustainable remediation white paper-Integrating sustainable principles, practices, and metrics into remediation projects. **Remediation Journal**, [s.l.], v. 19, n. 3, p. 5-114, 2009.

GU, Q.; HOU, D.; WU, B.; CHIANG, D.; LI, F. Conception and project practice of green and sustainable site remediation and its implications for China. **Chinese Journal of Environmental Engineering**, [s.l.], v. 9, n. 8, p. 4061-406, 2015.

HADLEY, P. W.; HARCLERODE, M. Green Remediation or Sustainable Remediation: Moving from Dialogue to Common Practice. **Remediation Journal**, [s.l.], v. 25, n. 2, p. 95-115, 2015.

HARCLERODE, M. A.; LAL, P.; MILLER, M. E. Quantifying Global Impacts to Society from the Consumption of Natural Resources during Environmental Remediation Activities. **Journal of Industrial Ecology**, [s.l.], v. 20, n. 3, p. 410-422, 2015.

HELD, T.; NOÉ, K. Green and Sustainable Remediation - eine Perspektive bei der Altlastenbearbeitung? **Chemie Ingenieur Technik**, [s.l.], v. 84, n. 7, p. 1062-1069, 2012.

HOLLAND, K. S. A Framework for Sustainable Remediation. **Environmental Science & Technology**, [s.l.], v. 45, n. 17, p. 7116-7117, 2011.

HOU, D.; AL-TABBAA, A.; GUTHRIE, P. The adoption of sustainable remediation behaviour in the US and UK: A cross country comparison and determinant analysis. **Science of The Total Environment**, [s.l.], v. 490, p. 905-913, 2014.

HOU, D.; GUTHRIE, P.; RIGBY, M. Assessing the trend in sustainable remediation: A questionnaire survey of remediation professionals in various countries. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 184, p. 18-26, 2016.

HOU, D.; QI, S.; ZHAO, B.; RIGBY, M.; O'CONNOR, D. Incorporating life cycle assessment with health risk assessment to select the 'greenest' cleanup level for Pb contaminated soil. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 162, p. 1157-1168, 2017.

HOU, D.; DING, Z.; LI, G.; WU, L.; HU, P.; GUO, G.; WANG, X.; MA, Y.; O'CONNOR, D.; WANG, X. A Sustainability Assessment Framework for Agricultural Land Remediation in China. **Land Degradation & Development**, [s.l.], v. 29, n. 4, p. 1005-1018, 2018.

HUANG, W-Y; HUNG; W; VU, C. T.; CHEN, W-T; LAI, J-W; LIN, C. Green and sustainable remediation (GSR) evaluation: framework, standards, and tool. A case study in Taiwan. **Environmental Science and Pollution Research**, [s.l.], v. 23, n. 21, p. 21712-21725, 2016.

HUYSEGOMS, L.; CAPPUYNS, V. Critical review of decision support tools for sustainability assessment of site remediation options. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 196, p. 278-296, 2017.

INEA. INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE DO RIO DE JANEIRO. 2015. Avaliação de Áreas Contaminadas. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Agendas/LicenciamentoAmbiental/Licenciamento-saiba-mais/GestaodeRiscoAmbientaTec/Avaliacaod eAreasContaminadas/index.htm&lang=PT-BR>. Acesso em: 29 de mar. 2019.

KIRMIZAKIS, P.; DOHERTY, R.; MENDONÇA, C. A.; COSTEIRA, R.; ALLEN, C. C. R.; OFTERDINGER, U. S.; KULAKOV, L. Enhancement of gasworks groundwater remediation by coupling a bio-electrochemical and activated carbon system. **Environmental Science And Pollution Research**, [s.l.], v. 26, n. 10, p.9981-9991, 2019.

LIM, H.; KWON, I. S.; LEE, H.; PARK, J. W. Environmental impact assessment using

a GSR tool for a landfarming case in South Korea. **Environmental Monitoring and Assessment**, [s.l.], v. 188, n. 4, p. 1-9, 2016.

LUO, Q.; CATNEY, P.; LERNER, D. Risk-based management of contaminated land in the UK: Lessons for China? **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 90, n. 2, p. 1123-1134, 2009.

MORAES, S. L. de; TEIXEIRA, C. E.; MAXIMIANO, A. M. de S. (Org). **Guia de elaboração de planos de intervenção para o Gerenciamento de áreas contaminadas**. 1. ed. rev. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Governo do Estado de São Paulo e BNDES, 2014.

NICOLE Brasil - LATIN AMERICA NETWORK FOR SOIL AND WATER MANAGEMENT. **Intrusão de Vapores em Ambientes Fechados: Conceitos Básicos, Avaliação e Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Brasil**. NICOLE Brasil: São Paulo, 2016, 88 p.

O'CONNOR, D.; HOU, D. Targeting cleanups towards a more sustainable future. **Environmental Science: Processes & Impacts**, [s.l.], v. 20, n. 2, p. 266-269, 2018.

POLLARD, S. J. T.; BROOKES, A.; EARL, N.; LOWE, J.; KEARNEY, T.; NATHANAIL, C. P. Integrating decision tools for the sustainable management of land contamination. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 325, n. 1-3, p. 15-28, 2004.

REDDY, K. R.; ADAMS, J. A. **Sustainable Remediation of Contaminated Sites**. New York: Momentum Press, 2015, 268 p.

REINIKAINEN, J.; SORVARI, J.; TIKKANEN, S. Finnish policy approach and measures for the promotion of sustainability in contaminated land management. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 184, p. 108-119, 2016.

RIZZO, E.; BARDOS, P.; PIZZOL, L.; CRITTO, A.; GIUBILATO, E.;

- MARCOMINI, A.; ALBANO, C.; DARMENDRAIL, D.; DÖBERL, G.; HARCLERODE, M.; HARRIES, N.; NATHANAIL, P.; PACHON, C.; RODRIGUEZ, A.; SLENDERS, H.; SMITH, G. Comparison of international approaches to sustainable remediation. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 184, p. 4-17, 2016.
- SACHS, J., SCHMIDT-TRAUB, G., KROLL, C., LAFORTUNE, G., FULLER, G. **Relatório SDG Index and Dashboards 2018**. Nova Iorque: Bertelsmann Stiftung e Sustainable Development Solutions Network (SDSN), 2018.
- SÃO PAULO. Decreto nº 59.263, de 5 de junho de 2013. Regulamenta a Lei nº 13.577, de 8 de julho de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá providências correlatas. **Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo**, São Paulo, 2013.
- SLENDERS, H. L. A.; BAKKER, L.; BARDOS, P.; VERBURG, R.; ALPHENAAR, A.; DARMENDRAIL, D.; NADEBAUM, P. There Are More Than Three Reasons to Consider Sustainable Remediation, a Dutch Perspective. **Remediation Journal**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 77-97, 2017.
- SMITH, J. W. N.; KERRISON, G. Benchmarking of Decision-Support Tools Used for Tiered Sustainable Remediation Appraisal. **Water, Air & Soil Pollution**, [s.l.], v. 224, n. 1706, p. 1-11, 2013.
- SMITH, G.; NADEBAUM, P. The evolution of sustainable remediation in Australia and New Zealand: A storyline. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 184, p. 27-35, 2016.
- SONG, Y.; HOU, D.; ZHANG, J.; O'CONNOR, D.; LI, G.; GU, G.; LI, S.; LIU, P. Environmental and socio-economic sustainability appraisal of contaminated land remediation strategies: A case study at a mega-site in China. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 610-611, p. 391-401, 2018.
- SPARREVIK, M.; BREEDVELDY, G. D. From ecological risk assessments to risk governance: Evaluation of the norwegian management system for contaminated sediments. **Integrated Environmental Assessment and Management**, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 240-248, 2010.
- THOMÉ, A.; REGINATTO, C.; VANZETTO, G.; BRAUN, A. B. Remediation Technologies Applied in Polluted Soils: New Perspectives in This Field. **Green, Pervasive, And Cloud Computing**, [s.l.], p.186-203, 2018.
- TILLA, I.; BLUMBERGA, D. Qualitative indicator analysis of a sustainable remediation. **Energy Procedia**, [s.l.], v. 147, p. 588-593, 2018.
- TRIPATHI, V.; FRACETO, L. F.; ABHILASH, P. C. Sustainable clean-up technologies for soils contaminated with multiple pollutants: Plant-microbe-pollutant and climate nexus. **Ecological Engineering**, [s.l.], v. 82, p.330-335, 2015.
- UN. UNITED NATIONS. 2019a National Accounts Main Aggregates Database. Disponível em: <https://unstats.un.org/unsd/snaama/introduction.asp>. Acesso em: 29 mar. 2019.
- UN. UNITED NATIONS. 2019b. Human Development Reports. Disponível em: <http://hdr.undp.org/en/data>. Acesso em: 29 mar. 2019
- VISENTIN, C.; THOMÉ, A. Sustainability in Life Cycle Analysis of Nanomaterials Applied in Soil Remediation. **Proceedings Of The 8th International Congress On Environmental Geotechnics Volume 3**, [s.l.], p.537-543, 2018.
- WU, P.; Cui, P.; Alves, M. E.; Peijnenburg, W. J. G. M.; Liu, C.; Zhou, D.; Wang, H.; Ok, Y. S.; Wang, J. Interactive

effects of rice straw biochar and γ -Al₂O₃ on immobilization of Zn. **Journal Of Hazardous Materials**, [s.l.], v. 373, p. 250-257, 2019.

YARGICOGLU, E. N.; REDDY, K. R. Green and sustainable remediation of contaminated Indian Ridge Marsh site in Chicago, USA. In: **Coupled Phenomena in Environmental Geotechnics: From Theoretical and Experimental Research to Practical Applications**. Torino, Itália: CRC Press, 2013, p. 675-684.

YASUTAKA, T.; ZHANG, H.; MURAYAMA, K.; HAMA, Y.; TSUKADA, T.; FURUKAWA, Y. Development of a green remediation tool in Japan. **Science of The Total Environment**, [s.l.], v. 563-564, p. 813-821, 2016.

ZHENG, Z. J.; LIN, M. Y.; CHIUEH, P. T.; LO, S. L. Framework for determining optimal strategy for sustainable remediation of contaminated sediment: A case study in Northern Taiwan. **Science of The Total Environment**, [s.l.], v. 654, p. 822-831, 2019.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Reconhece-se que, embora tenha sido alcançado um grande avanço no campo da remediação sustentável, ainda é possível destacar diferentes desafios relacionados à adoção e à aceitabilidade dos seus conceitos. Nesse contexto, destacam-se os países desenvolvidos em relação aos países em desenvolvimento no que diz respeito à abordagem e desenvolvimento da remediação sustentável. Essa deficiência contribui para que o nível de contaminação continue aumentando nos países em desenvolvimento, com os impactos socioeconômicos e ambientais associados.

O conceito de remediação sustentável é relativamente novo, mas já amplamente aceito nos países desenvolvidos. No entanto, tanto nos países em desenvolvimento como no Brasil, a preocupação em aplicar a remediação

sustentável ainda não está entre as prioridades, uma vez que outras questões ainda requerem muita atenção, as quais já foram superadas pelos países desenvolvidos. Desta forma, por se tratar de um conceito novo, o conhecimento e aplicação na prática da remediação sustentável ainda é limitado, fazendo com que o envolvimento dos stakeholders acabe sendo prejudicado.

Um dos fatores que contribui para a baixa adoção de medidas sustentáveis pelos países em desenvolvimento é, inicialmente, a falta de conscientização desses países em investir em pesquisas para conhecer seus locais contaminados. Um exemplo disso é o Brasil, no qual o número total de locais contaminados em todo o território nacional é desconhecido, tendo iniciativas e registros em apenas três de seus 27 Estados Federativos.

No Brasil, a preocupação com locais contaminados é relativamente recente e muitos dos mecanismos legais existentes não foram suficientes para resolver problemas históricos de contaminação. Enfrentando essas deficiências, a remediação sustentável ainda é um conceito sem uma abordagem clara na estrutura regulatória do país, além da falta de compreensão e importância dada à questão no cenário científico.

Desta forma, tem-se como principais perspectivas para o cenário brasileiro: o conhecimento e registro das áreas contaminadas em nível nacional; a incorporação da sustentabilidade no cotidiano das tomadas de decisão nas mais diferentes áreas; a inserção dos conceitos de remediação sustentável na legislação; e a elaboração de padrões orientadores para sua aplicação.

Assim, vale ressaltar que, para que a abordagem de remediação sustentável na gestão de áreas contaminadas continue avançando e que desafios ainda maiores para os países em desenvolvimento sejam superados, a remediação sustentável deve ser vista como uma nova forma de pensar.