

O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA CIVIL 2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora
Ano 2020

O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA CIVIL 2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora
Ano 2020

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dr. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Alborno – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior

Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará

Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão

Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo

Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana

Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Vanessa Mottin de Oliveira Batista
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D451 O desenvolvimento sustentável na engenharia civil 2 /
Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João
Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-614-0

DOI 10.22533/at.ed.140202511

1. Engenharia civil. 2. Desenvolvimento sustentável. I.
Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João
(Organizador). III. Título.

CDD 624

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

UTILIZAÇÃO DE BARREIRAS VERTICAIS NA REMEDIAÇÃO AMBIENTAL

Data de aceite: 16/11/2020

Data de submissão: 07/09/2020

Luciana Regina Cajaseiras de Gusmão

Universidade Federal de Pernambuco,
Departamento de Engenharia Civil
Recife – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/4228865260590782>

José Fernando Thomé Jucá

Universidade Federal de Pernambuco,
Departamento de Engenharia Civil
Recife – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/9551646929257730>

Karla Salvagni Heineck

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Departamento de Engenharia Civil
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/2053839883513170>

RESUMO: O presente trabalho traz explanação teórica compilada sobre os principais métodos de contenção de contaminantes utilizados na atualidade, as barreiras verticais, a fim de divulgar e disseminar as práticas. A contenção da área-fonte de contaminação é um método de custo relativamente baixo que consegue evitar o alastramento da pluma de contaminantes; seu princípio básico é controlar o movimento horizontal de água e contaminantes, dificultando o fluxo. As barreiras de solo-bentonita, cimento-bentonita e solo-cimento-bentonita estão entre as mais frequentemente utilizadas. Em comparação, a primeira apresenta a vantagem de ser mais

competitiva e proporcionar menores coeficientes de condutividade hidráulica, enquanto garante menor capacidade de suporte, está mais sujeita a misturas heterogêneas e necessita de maiores áreas de trabalho. Por outro lado, o cimento das cortinas de cimento-bentonita pode provocar gradativas trocas catiônicas que comprometam a estabilidade e permeabilidade da barreira. As cortinas de solo-cimento-bentonita buscam equilibrar baixa condutividade hidráulica e alta resistência.

PALAVRAS-CHAVE: Barreiras verticais, remediação ambiental, solo-bentonita, cimento-bentonita, solo-cimento-bentonita.

USE OF SLURRY WALLS IN ENVIRONMENTAL REMEDIATION

ABSTRACT: The present work provides a compiled theoretical explanation about the main contaminant containment methods currently used, slurry walls, in order to disseminate and spread these practices. Containment of the contamination source area is a relatively low-cost method that manages to prevent the spread of the contaminant plume; its basic principle is to control the horizontal movement of water and contaminants, making the flow difficult. The soil-bentonite, cement-bentonite and soil-cement-bentonite barriers are among the most frequently used. In comparison, the former has the advantage of being more competitive and providing lower coefficients of hydraulic conductivity, while guaranteeing less carrying capacity, is more subject to heterogeneous mixtures and requires larger work areas. On the other hand, the cement of the cement-bentonite liners can cause gradual

cationic exchanges that compromise the stability and permeability of the barrier. Soil-cement-bentonite walls seek to balance low hydraulic conductivity and high strength.

KEYWORDS: Slurry walls, environmental remediation, soil-bentonite, cement-bentonite, soil-cement-bentonite.

1 | INTRODUÇÃO

A total remediação de áreas contaminadas de forma a possibilitar uso irrestrito do solo e da água tem se mostrado ser um objetivo ilusório, já que os processos são bastante desafiadores e dispendiosos. As limitações das tecnologias de remediação, a frequente realização de uma investigação incompleta e definição imprecisa da problemática contaminante, além de natureza complexa e heterogênea da subsuperfície são as principais causas de insucesso na remediação (SMYTH *et al.*, 2001).

A complexidade dos modelos de dispersão de contaminantes e a dificuldade associada da remediação crescem à medida que há mistura de fontes de contaminação, heterogeneidade da subsuperfície, configurações hidrogeológicas complicadas associadas com rochas fraturadas, ou mesmo interações entre diferentes contaminantes (SMYTH *et al.*, 2001). É interessante notar que embora a massa de contaminantes na fonte geralmente exceda bastante a presente nas plumas (MACKAY; CHERRY, 1989), os contaminantes móveis são comumente os que geram mais riscos imediatos ao meio ambiente. Assim, as características das zonas de fonte e dispersão (plumas) são distintas, quase sempre requerendo tecnologias diferentes para remediação.

É importante que várias possibilidades sejam levadas em consideração para a escolha do método mais interessante para cada caso de remediação ambiental, inclusive quanto à possibilidade de combinar soluções, sempre tendo em mente o potencial de degradação e o custo, o qual envolve as condições de execução.

O presente trabalho apresenta explanação teórica compilada comparativa sobre os principais métodos de isolamento da zona-fonte, as cortinas verticais, com a finalidade de divulgar e disseminar essa prática cada vez mais.

2 | REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS

A escolha e desenvolvimento de um programa de remediação para determinada área depende dos objetivos buscados em cada caso, podendo envolver a adoção de várias ações. Em alguns casos é possível fazer uso apenas de mecanismos físicos, químicos e biológicos naturais (atenuação natural) para reduzir a contaminação a níveis aceitáveis. No entanto, frequentemente é necessário fazer uso também de abordagens mais complexas, nas quais se deve almejar: a remoção/

destruição da massa contaminação na zona-fonte para evitar posterior propagação de pluma; o isolamento da zona-fonte através de barreiras hidráulicas ou físicas; ou controle e remediação da pluma através de sistema de bombeamento direto ou uso de barreiras reativas *in situ* (SMYTH *et al.*, 2001).

Uma medida quase essencial quando não há capacidade tecnológica e financeira para restauração total da zona-fonte é o seu isolamento e contenção. A contenção da contaminação é obtida a partir da construção de cortinas/barreiras/trincheiras verticais de baixa permeabilidade, contenções hidráulicas de longo-prazo com sistemas de bombeamento e tratamento dos contaminantes, ou intercepção e tratamento *in situ* da água subsuperficial contaminada através de barreiras reativas passivas (CHERRY; FEENSTRA; MACKAY, 1996).

Neste trabalho, serão abordados os principais tipos de contenções através de barreiras verticais de baixa condutividade hidráulica.

2.1 Remediação por barreiras verticais

A instalação de cortinas verticais geralmente se restringe a profundidades menores que 50 m e pode ter limitações em configurações geológicas difíceis, como terrenos rochosos com superfícies fraturadas (SMYTH *et al.*, 2001). Utilizadas na Engenharia Civil para controle hidráulico em escavações desde a década de 50, apenas a partir da década de 70 as barreiras foram adaptadas para uso ambiental, difundindo-se nos anos 80 como componente de sistema de remediação de contaminantes (LEMOS, 2006). A contenção deve ser estrategicamente posicionada de forma a conter, divergir ou encapsular o fluxo.

Seu princípio básico é controlar o movimento horizontal de água e contaminantes, dificultando o fluxo de água e/ou o transporte advectivo de contaminantes através da cortina (SMYTH *et al.*, 2001). Na definição dos objetivos da barreira, é essencial definir se ela vai atuar com baixa condutividade hidráulica, reduzindo o fluxo de água, ou impedindo o transporte de contaminantes, o qual se dá de forma mais complexa. Assim, a condutividade hidráulica é a principal preocupação desse tipo de projeto, assim como os parâmetros de resistência, custos e métodos executivos (LEMOS, 2006).

O projeto a ser elaborado depende dos objetivos da barreira. A maioria das intervenções de remediação com cortinas verticais, no entanto, utilizam técnicas combinadas para atingir seus objetivos de forma mais eficiente. Na geotecnia ambiental geralmente as barreiras verticais são dispostas em posicionamento circunferencial, ao redor da fonte de contaminação, frequentemente associadas a sistemas de drenagem subsuperficial e coberturas sobre a área contaminada para proteger a água subsuperficial *off-site*. No entanto, esse formato não é essencial, pois as barreiras podem ser dispostas de forma a isolar apenas parte do local. As

barreiras também podem ser utilizadas para reduzir a migração de água limpa não contaminada para pontos de alto gradiente de concentração – pelo princípio da osmose (EVANS, 1993).

Segundo, Mitchell e Van Court (1997) e Devlin e Parker (1996), o potencial contaminante acumulado e a movimentação através da cortina a partir da difusão podem ser considerações importantes do projeto de isolamento.

A eficiência de um isolamento pode ser otimizada quando sua base é engastada em um aquífero ou camada de baixa permeabilidade (SMYTH *et al.*, 2001). O engaste se torna desnecessário quando há retirada da água contaminada ou os contaminantes estão concentrados próximo à superfície ou flutuando no nível freático (EVANS, 1993).

Onde essas condições geológicas não permitem ou o aquífero é muito profundo, as cortinas podem ser limitadas dentro do aquífero, situação denominada por Cherry, Feenstra e Mackay (1996) de “cortina suspensa” (tradução nossa). Essa configuração é possível quando o gradiente for ascendente ou o contaminante for menos denso que a água, situações em que os contaminantes só são retidos se a barreira se estender em profundidade abaixo da base da área-fonte, e podem ser necessárias maiores taxas de bombeamento de água para manter a contenção hidráulica.

Recomenda-se maximizar o isolamento com o uso de sistema de cobertura acoplado às cortinas verticais. A cobertura tem função de reduzir a infiltração, controlar a eliminação de gases e vapores e garantir isolamento da subsuperfície contaminada com a biosfera (SMYTH *et al.*, 2001). A maioria dos sistemas de contenção vertical necessita da proteção proporcionada pela cobertura, já que os materiais estão sujeitos a ressecamento e ciclos de gelo-degelo. O projeto final deve considerar o carregamento do tráfego (paralelo e transversal, se for o caso) e alternativas de integração com a paisagem (EVANS, 1993). É muito comum a utilização de geossintéticos (geogrelhas, geotêxteis ou geomembranas) ou argila compactada para essa finalidade.

Pode-se ainda acrescentar base às cortinas verticais para aumentar o isolamento dos contaminantes. Embora tenha havido evolução das tecnologias de execução de base nas barreiras, seus custos são elevados e a verificação de sua disposição e desempenho são difíceis, razão pela qual sua utilização não é muito comum no controle de remediação, sendo mais frequente em aterros sanitários (PETERSON; LANDIS, 1995).

Após a identificação dos objetivos pretendidos com a barreira, é necessário avaliar quais tipos de barreira atendem ao pretendido, geralmente a partir de modelos de fluxo de água e contaminantes. É necessário avaliar a hidrogeologia e aspectos geotécnicos do local, além de desempenho a curto e longo prazo de cada

caso, especialmente do ponto de vista de condutividade hidráulica, resistência e compressibilidade (EVANS, 1993).

Interações físico-químicas entre materiais da cortina e contaminantes podem influenciar o desempenho hidráulico da contenção. Interações entre argila e componentes miscíveis na água como co-solventes ou surfactantes podem provocar retração de minerais argilosos, o que pode ocasionar aumento da condutividade hidráulica, efeito minimizado em profundidades com tensões confinantes maiores (SMYTH *et al.*, 2001).

Materiais poliméricos também estão sujeitos a reações degradantes com fluidos orgânicos como hidrocarbonetos aromáticos e solventes de petróleo ou solventes de cloro e petróleo, tendo sua eficiência na aplicação de cortinas de contaminantes questionável, a depender do caso (MITCHELL; VAN COURT, 1997). A eficiência de uma barreira hidráulica vertical está diretamente ligada às propriedades do material de preenchimento utilizado, o qual depende especialmente da graduação do solo e percentual de bentonita utilizados para cortinas de solo-bentonita e solo-cimento-bentonita (LEMOS, 2006; PAGANI, 2007).

Os principais tipos de barreiras utilizadas são: trincheiras de solo-bentonita (com ou sem geomembrana), cimento-bentonita ou solo-cimento-bentonita, cortinas de concreto vibrado, colunas *jet ground*, estacas-prancha de aço convencional e paredes-diafragma (SMYTH *et al.*, 2001). O desempenho de cada dependerá de características da contaminação e condições do projeto.

De forma geral, as barreiras de solo-bentonita estão entre as técnicas mais utilizadas devido à maior rapidez de execução e menor custo, seguidas das barreiras de cimento-bentonita ou solo-cimento-bentonita, de maior resistência (LEMOS, 2006). Tendo em vista que o custo é um critério decisivo na escolha da solução empregada, serão aprofundados esses três métodos.

2.1.1 Barreiras de solo-bentonita

Nesse método, trincheiras são escavadas e utiliza-se lama bentonítica (segundo Evans (1993), normalmente na proporção de 5% de bentonita para 95% de água, em peso) para manter a estabilidade geotécnica durante a escavação, a partir da pressão do fluido que excede o empuxo ativo do solo, e diminuir a condutividade hidráulica (BATISTA; LEITE, 2010). Para escavações até 20 m é possível utilizar retroescavadeira no processo, mas para profundidades maiores recomenda-se a utilização de *dragline* ou *clamshell*. O método de escavação utilizado não interfere diretamente na eficiência da barreira, mas é essencial que a camada impenetrável seja atingida continuamente (AZAMBUJA, 2004).

Segundo Azambuja (2004) e Lemos (2006), a escavação deve ser iniciada pela área de maior declividade do terreno. A largura da trincheira varia entre 0,6 e 1,5

m, sendo comum 0,9 m. Trincheiras muito estreitas são de difícil execução, enquanto que muito largas aumentam custos sem necessidade. Atingida a profundidade desejada, é feito reaterro na vala, quando parte da lama bentonítica é retirada e parte permanece recobrimdo as paredes escavadas formando uma película fina (*filter cake*), a qual é a principal responsável pela redução da condutividade hidráulica da barreira (BATISTA; LEITE, 2010).

A lama consegue penetrar nos vazios do solo a partir de diferença de pressão existente, onde grupos de partículas sólidas, denominadas colóides, vão se acumulando até formação da do *filter cake*. Vale salientar que para evitar escorregamentos, as paredes devem estar na vertical durante a escavação, com um desvio máximo de 2% (XANTHAKOS, 1979).

Para garantia da estabilidade, a lama bentonítica deve permanecer próximo ao topo da trincheira (máximo de 90 cm abaixo) e pelo menos 60 cm acima do nível d'água (FILZ; HENRY; DAVIDSON, 1997). Caso contrário, a poropressão do solo adjacente exercerá uma força no *filter cake* que irá provocar sua desintegração, comprometendo, assim, o isolamento hidráulico e estabilidade do trecho, podendo ocorrer o colapso. Caso venha a ocorrer colapso, o trecho deve ser limpo antes da aplicação do material de preenchimento/reaterro (*backfill*) (XANTHAKOS, 1979).

O reaterro é feito a uma consistência de alto *slump* de concreto (100 – 150 mm), de preferência com mistura de areia, silte, argila e lama bentonítica. Para atingir essa consistência, o material deve ser “fluidificado” a partir da adição da lama ao solo, e assim permanece no local ao longo do tempo (EVANS, 1993). É importante manter o peso específico da lama presente na vala sempre menor que o peso específico da mistura de reaterro solo-bentonita a fim de garantir a gradativa expulsão da bentonita a partir da inserção do *backfill* no trecho.

Adicionalmente, deve ser feita a retirada de eventuais sedimentos granulares existentes nas trincheiras antes da execução do reaterro para evitar a existência de pontos com maior condutividade hidráulica do que a mistura aplicada (D'APPOLONIA, 1980). O reaterro deve ser executado no extremo oposto do trecho em escavação, depositando-se continuamente a mistura solo-bentonita do fundo até a superfície, formando uma rampa com inclinação de 6:1 para que posteriormente escoe progressivamente sem ocorrência de segregação e expulsando a lama existente no trecho (LEMOS, 2006).

O *slump* adequado para cada caso deve ser determinado em estudos de laboratório para avaliar a condutividade hidráulica e compatibilidade com a execução. Ressalta-se que é importante que as amostras de ensaio sejam sempre preparadas com o mesmo *slump* do campo ou os dados não serão representativos da situação real. A compatibilidade química com os contaminantes envolvidos tem extrema importância, pois pode provocar aumento de permeabilidade da mistura

(SMYTH *et al.*, 2001).

É interessante notar que embora no estudo de Batista e Leite (2010) a adição de bentonita ao solo ensaiado não tenha gerado redução da condutividade hidráulica (na verdade, houve leve aumento), trouxe significativo crescimento da capacidade de retenção de contaminantes, aspecto muito positivo para os projetos de geotecnia ambiental.

O solo presente no *backfill* pode ser proveniente do próprio trecho escavado ou de empréstimo. Embora a utilização de solo local represente grande economia e frequentemente resulte em uma lama mais grossa/densa e com mais materiais finos em suspensão – o que promove redução da condutividade hidráulica (D'APPOLONIA, 1980), ressalta-se que é importante controlar a distribuição granulométrica do solo utilizado para resultar em uma mistura mais uniforme. Diante da variabilidade natural que pode haver ao longo da escavação, o controle deve ser mais fácil a partir da utilização de empréstimo (EVANS, 1993). Devido às altas profundidades que podem ser necessárias a depender do caso, é importante avaliar também a capacidade de suporte das misturas de reaterro (BATISTA; LEITE, 2010).

Vale ressaltar que a eficiência desse tipo de intervenção depende de condições da subsuperfície independentes de previsão e material de preenchimento utilizado (LEMOS, 2006), então as especificações técnicas de projeto só podem estabelecer garantias e responsabilização sobre aquilo que é possível controlar, como graduação do solo utilizado e quantidade de bentonita na mistura.

Na execução construtiva, pode-se optar por fazer a mistura de reaterro ao longo da trincheira ou em área remota de mistura. O primeiro método tem a vantagem de ser mais barato, já que não necessita de equipamentos mais especializados, e desvantagem de requerer maior área disponível para fazer a mistura e dificuldade de adicionar finos à mistura retirada na escavação. Assim, com a utilização de área remota de mistura é possível garantir maior homogeneidade, uniformidade e controle à mistura (EVANS, 1993).

A principal preocupação executiva se relaciona com a possibilidade de aumento da condutividade hidráulica, como no caso de mistura solo-bentonita mal executada, que pode gerar bolsões de solo ou mesmo de lama bentonítica, resultando em zonas de condutividade hidráulica maiores que o desejado. Ciclos de congelamento-descongelamento ou molhagem-secagem, ou mesmo o ressecamento da mistura solo-bentonita também podem ser fatores de risco da contenção (EVANS, 1993). Um projeto adequado de sistema de cobertura das cortinas pode prevenir o congelamento da estrutura.

Quanto ao comportamento de longo-prazo, a incompatibilidade química entra como principal consideração, sendo necessário controlar os aumentos de condutividade hidráulica. Pode-se minimizar o efeito do ataque químico com a

utilização de solo bem-graduado com grande quantidade de finos, já que corresponde a um conjunto de grãos progressivamente menores relativamente inertes (EVANS, 1993). Vale salientar que os minerais argilosos possuem excesso de cargas elétricas em sua superfície e grande superfície específica, o que favorece fenômenos de interação elétrica e química.

2.1.2 Barreiras de cimento-bentonita

Também executada através de escavação, a principal diferença construtiva das trincheiras de solo-bentonita é que a lama utilizada na estabilização da escavação é comumente deixada para endurecer no local. Nesse caso, a lama contém bentonita, cimento e água, atingindo condutividade hidráulica na ordem de 1×10^{-5} e 1×10^{-6} cm/s, enquanto que as de solo-bentonita resultam em valores entre 1×10^{-7} e 1×10^{-8} cm/s (EVANS, 1993).

Como o solo escavado não é utilizado na mistura de reaterro, a destinação final desse material deve ser levada em consideração na análise das alternativas, já que envolve custos elevados de movimentação de terras e/ou bota-fora (EVANS, 1993). Em geral, esse método tem maior custo também devido à utilização de cimento (BATISTA; LEITE, 2010), entretanto, torna-se uma opção interessante quando não há na área solo adequado disponível para a mistura do *backfill* de solo-bentonita (PEARLMAN, 1999).

Esse tipo de barreira necessita de menos área de trabalho que a cortina de solo-bentonita, já que não realiza mistura com solo e o equipamento de mistura cimento-bentonita é bem compacto. O potencial para defeitos construtivos também é bem menor. A principal preocupação é a dosagem adequada de cimento, bentonita e água (EVANS, 1993). É recomendável quando a resistência é um requisito importante, já que o cimento proporciona aumento da capacidade de suporte com o tempo. Por outro lado, é uma barreira, em geral, mais permeável.

Millet e Perez (1981) apontam que o aumento de resistência possibilita execução de barreiras mais estreitas, geralmente variando entre 0,6 e 0,9 m para profundidades de até 30 m. No caso de escavação por painéis alternados ou para pequenas profundidades costuma-se utilizar a própria lama de cimento-bentonita para manter a estabilidade do talude, deixando-a endurecer no local. Profundidades maiores que 30 m talvez não possibilitem manter a mistura com cimento trabalhável durante todo o tempo necessário, situação em que será necessário utilizar lama bentonítica durante a escavação para posterior substituição por outra com cimento ao término, a qual deve ser mais densa para possibilitar a expulsão (JEFFERIS, 1981).

O cimento interfere nas propriedades químicas da bentonita reduzindo sua capacidade de inchamento e retenção de água. Embora a condutividade hidráulica

tenha pouca relação com a quantidade de cimento empregada, a mesma é função do tempo decorrido, já que o processo de hidratação do cimento proporciona redução da permeabilidade (LEMOS, 2006).

O contato entre o cimento e a lama bentonítica ocasiona floculação mútua, responsável pelo rápido enrijecimento da mistura. A agregação das partículas de argila provoca a progressiva quebra da estrutura em estado de gel da bentonita, retornando ao estado fluido após alguns minutos (JEFFERIS, 1981). A floculação que ocorre promove um *filter cake* mais poroso e permeável do que o da lama bentonítica apenas, permitindo maior escoamento por entre os poros do solo. Assim, além de criar barreiras mais permeáveis, há perda considerável de lama para o solo (pode ser necessário utilizar o dobro do volume teórico de material) (XANTHAKOS, 1979).

Para que as juntas frias de execução durante o preenchimento interrompido não se tornem pontos fracos do sistema (com maior condutividade hidráulica), é necessário que seja feita a cuidadosa limpeza de toda a superfície, garantindo aderência entre as camadas bombeadas (EVANS, 1993).

A mistura é preparada em misturador coloidal de alta velocidade, inicialmente com a mistura bentonita-água e posteriormente com adição do cimento para ser bombeada na vala (EVANS, 1993). Jefferis (1981) chama a atenção que para evitar a ocorrência do fenômeno chamado de “*bleeding*”, em que há segregação bastante considerável dos materiais, a lama bentonítica deve ser completamente hidratada antes da adição do cimento (por pelo menos quatro horas). Quanto maior a proporção de bentonita em relação ao cimento, menor será a segregação, já que a bentonita é a responsável por suportar as partículas do cimento. Adicionalmente, Li *et al.* (1989) afirmam que a segregação ocorre mais rapidamente a depender de quanto menor for o fator água-cimento da mistura.

Alterações de propriedades ao longo do tempo são mais difíceis de ocorrer devido à hidratação do cimento e progressivo ganho de resistência com o tempo. No entanto, a possibilidade de incompatibilidade química, tanto global quanto local, deve ser considerada. Usualmente utiliza-se bentonita sódica na mistura, pois a cálcica produz lama mais instável e forma película mais permeável, por ser menos expansiva quando hidratada. No entanto, é possível que haja gradativa troca catiônica do sódio (Na^+) da bentonita com as grandes quantidades de íons de cálcio (Ca^{2+}) liberados pelo cimento, transformando a bentonita sódica em cálcica ao longo do tempo, o que implica maior permeabilidade e instabilidade (BATISTA; LEITE, 2010).

2.1.3 Barreiras de solo-cimento-bentonita

O aumento do custo proveniente do acréscimo de cimento e maiores volumes

de movimentação de terra, atrelado à maior permeabilidade e instabilidade química das cortinas de cimento-bentonita têm sido os principais aspectos motivacionais da utilização das barreiras de solo-cimento-bentonita, de desenvolvimento mais recente. A incorporação de solo na mistura provoca redução dos custos e maior estabilidade química, atrelada à maior resistência propiciada pelo cimento. É uma opção interessante em casos onde é possível utilizar o solo escavado na composição da mistura de preenchimento, reduzindo o volume de bota-fora (PEARLMAN, 1999).

Dessa forma, as barreiras de solo-cimento-bentonita tentam combinar a baixa condutividade hidráulica das barreiras de solo-bentonita com a maior resistência das barreiras de cimento-bentonita. Seu método construtivo é semelhante às barreiras tradicionais de solo-bentonita, porém geralmente com menores profundidades (até 15 m) (RYAN; DAY, 2002).

Assim como nas barreiras de solo-bentonita, a adição de finos pode melhorar a eficiência da contenção hidráulica, enquanto o excesso pode exigir maiores quantidades de água para atingir a trabalhabilidade necessária, reduzindo a densidade da mistura e, conseqüentemente, aumentando sua permeabilidade (PAGANI, 2007).

A condutividade hidráulica do material de preenchimento utilizado neste tipo de cortina é resultado de complexas interações entre os componentes da mistura. O cimento, além de alterar as propriedades bentoníticas mencionadas anteriormente, demanda mais água à mistura para que seja possível executar seu lançamento na vala, reduzindo, assim, a densidade do material de preenchimento – e aumentando a permeabilidade. É possível ainda fazer uso de aditivos, especialmente os retardadores de pega, na tentativa de reduzir a condutividade hidráulica, porém além de dificultar o processo executivo, aumenta os custos (LEMOS, 2006).

A avaliação de cada método deve levar em consideração também outros aspectos essenciais como resistência e durabilidade do *backfill*. Stavridakis (2005) mostrou que para misturas de solo granular, cimento (4%) e bentonita, houve tendência à redução da resistência à compressão não confinada com o aumento percentual de bentonita, sendo a maior resistência obtida com 5% de bentonita, muito superior àquelas referentes às demais porcentagens estudadas (10, 15, 20, 25 e 30%).

A resistência das barreiras é função do fator água-cimento e do tempo (de cura) (PAGANI, 2007). Segundo Azambuja (2004), quanto menor for o fator água-cimento da mistura solo-cimento-bentonita, maior a resistência à compressão não confinada e resistência de pico (ao cisalhamento), e menor a condutividade hidráulica. É importante ressaltar, no entanto, que o acréscimo do cimento provoca aumento do custo da contenção quase em proporção direta com a resistência; e que seu excesso pode aumentar as chances de fissuração da barreira devido ao

aumento de rigidez frente aos carregamentos sofridos (PAGANI, 2007).

Batista e Leite (2010), estudando misturas de solo-bentonita e solo-cimento-bentonita, constataram que a adição de cimento, embora tenha aumentado significativamente a resistência, também trouxe grandes aumentos de condutividade hidráulica, mesmo para pequenas porcentagens de cimento. Diante do objetivo principal das cortinas de conter a contaminação, o aumento de permeabilidade ocasionado deve ser bem estudado em cada caso, já que pode vir a comprometer a funcionalidade da obra.

Adicionalmente, Pagani (2007) verificou a viabilidade de adicionar fibras de polipropileno em barreiras de solo-cimento-bentonita. A adição proporcionou aumento significativo na resistência não-confinada, pequena redução de deformação na aplicação de cargas isotrópicas e redução a fragilidade da mistura, sem, entretanto, causar alterações na condutividade hidráulica. A adição em misturas de solo-bentonita também se mostrou viável, sem alterar significativamente o comportamento hidráulico da mistura.

3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de cortinas de contenção são opções de remediação ambiental com custo relativamente baixo que conseguem impedir o alastramento da contaminação. É possível utilizar essa técnica em conjunto com meios de tratamento dos contaminantes a fim de obter uma remediação mais rápida da área.

A cortina de solo-bentonita apresenta a vantagem de ser mais competitiva e proporcionar menores coeficientes de condutividade hidráulica, enquanto garante menor capacidade de suporte, está mais sujeita a misturas heterogêneas e necessita de maiores áreas de trabalho. Por outro lado, embora a utilização de contenções de cimento-bentonita promova estruturas mais resistentes, o isolamento da área pode ficar comprometido a partir do aumento da condutividade hidráulica ao longo do tempo (devido à instabilidade química do sistema). Mais recentemente, tem crescido a utilização das barreiras de solo-cimento-bentonita, na tentativa de equilibrar a baixa condutividade hidráulica promovida pelas barreiras de solo-bentonita, com a maior resistência das de cimento-bentonita.

Vale salientar que é de extrema importância considerar a compatibilidade química da contenção com o meio e os contaminantes existentes, de forma que não comprometa a funcionalidade do bloqueio. Cada caso de remediação deve ser analisado detalhadamente para escolha do(s) método(s) que melhor atende(m) às necessidades.

REFERÊNCIAS

AZAMBUJA, R. M. B. **Comportamento mecânico e hidráulico de misturas de solo-cimento-bentonita para aplicação em barreiras verticais de contenção de contaminantes.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil): Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004. 99p.

BATISTA, P.; LEITE, A. do L. Misturas de um solo laterítico com cimento e bentonita para uso em cortinas verticais. **R. Esc. Minas.** Ouro Preto, v. 63, n. 2, p. 255-263, abr./jun. 2010.

CHERRY, J. A.; FEENSTRA, S.; MACKAY, D. M. Concepts for remediation of sites contaminated with DNAPLS. In: PONKOW, J. F.; CHERRY, J. A. (Eds.). **Dense chlorinated solvents and other DNAPLs in groundwater.** Ontario, Canada: Waterloo Press, 1996. p. 475-506.

D'APPOLONIA, D. J. Soil-bentonite slurry trench cutoff. **Journal of the Geotechnical Engineering Division.** New York, v. 107, n. 4, p. 393-409, 1980.

DEVLIN, J. F.; PARKER, B. L. Optimun hydraulic conductivity to limit contaminant flux through cutoff walls. **Ground Water.** v. 34, n. 4, p. 719-726, 1996.

EVANS, J. C. Vertical cutoff walls. In: DANIEL, D. E. (Ed.). **Geotechnical practice for waste disposal.** London, England: Chapman & Hall, 1993. p. 430-454.

JEFFERIS, S.A. Bentonite-cement slurries for hydraulic cut-offs. **International Conference Soil Mechanics and Foundation Engineering.** Stockholm, v. 1, p. 435-440, Jun/1981.

FILZ, G. M.; HENRY, L. B.; DAVIDSON, R. R. Formation and properties of bentonita filter cakes. In: REDDI, L. N.; BONALA, M. S. **Filtration and drainage in geotechnical/geoenvironmental engineering** (Geotech. Spec. Publ. n. 78). New York: ASCE, 1998. p. 69-88.

LE MOS, R. G. **Estudo do comportamento hidráulico, mecânico e químico de barreiras hidráulicas verticais, compostas por solo residual, bentonita e cimento sob ação de substâncias agressivas.** 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil): Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. 310p.

LI, J. C.; HWANG, C. L.; YAO, H. L.; LEE, H. J.; LEE, R. J. A study of slag cement-bentonite slurry, In: **International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, 12^a edição (Rio de Janeiro). Rotterdam: A. A. Balkema, v. 3, p. 1499-1502, 1989.

MACKAY, D. M.; CHERRY, J. A. Groundwater contamination: limits of pump-and-treat remediation. **Environmental Science & Technology**, v. 23, n. 6, p. 630-636, 1989.

MILLET, R. A.; PEREZ, J. Current USA practice: slurry wall specification. **Journal of the Geotechnical Engineering Division.** ASCE, v. 107, n. 8, p. 1041-1052, 1981.

MITCHELL, J. K.; VAN COURT, W. A. N. Barrier design and installation: walls and covers. In: WARD, C. H.; CHERRY, J. A.; SCALF, M. R. (Eds.). **Subsurface restoration.** Michigan, EUA: Ann Arbor Press, 1997. p. 175-197.

PAGANI, B. R. **Estudo de misturas solo-cimento-bentonita-fibra para uso em barreiras verticais de contenção de contaminantes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil): Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. 116p.

PEARLMAN, L. **Subsurface containment and monitoring systems: barriers and beyond** (overview report). Washington: National Network of Environmental Management Studies Fellow, 1999. 61p.

PETERSON, M. E.; LANDIS, R. C. Artificially emplaced floors and bottom barriers. In: RUMER, R. R.; MITCHELL, J. K. (Eds.). **Assessment of barrier containment technologies: a comprehensive treatment for environmental remediation applications**. US Department of Energy/US Environmental Protection Agency: Dupont Company, 1995. p. 185-209.

RYAN, C. R.; DAY, S. R. Soil-cement-bentonite slurry walls. In: O'NEILL, M. W.; TOWNSEND, F. C. **Deep Foundations 2002: An international perspective on theory, design, construction and performance** (Geotechnical special publication n. 16). New York: ASCE, 2002. p. 713-727.

SMYTH, D. J. A.; GILHAM, R. W.; BLOWES, D. W.; CHERRY, J. A. In situ containment and treatment of contaminated soil and groundwater. In: ROWE, R. K. (Ed.). **Geotechnical and geoenvironmental engineering handbook**. Ontario, Canada: Kluwer Academic Publishers, 2001. p. 921-945.

STAVRIDAKIS, E. Presentation and assessment of clay influence on engineering parameters of cement-treated clayed mixtures. **EJGE**, v. 10, bundle A, 2005.

XANTHAKOS, P. P. **Slurry Walls**. New York: McGraw Hill, 1979. 622p.