

Método de tratamento e descarte de fluido estabilizante utilizado em obras de escavação de contenção – Estudo de caso

Dayse de Paiva

Assistente de Engenharia Civil, Geofix Engenharia e Fundações LTDA, São Paulo, Brasil, dayse.paiva@geofix.com.br

Jhonatan Eduardo Dutra Garcia

Engenheiro Civil, Geofix Engenharia e Fundações LTDA, São Paulo, Brasil, jhonatan.garcia@geofix.com.br

Marcio Abreu de Freitas

Engenheiro Civil Geotécnico, Geofix Engenharia e Fundações LTDA, São Paulo, Brasil, marcio.freitas@geofix.com.br

RESUMO: Nos cenários de urbanização intensa e otimização de espaço nas grandes cidades, as estruturas para contenção de solos se tornaram fundamentais. Dentre os variados tipos, destaca-se a parede diafragma. A execução desse tipo de estrutura demanda o uso de fluidos estabilizantes para escavar os painéis, sendo a lama bentonítica um dos mais versáteis. Composta por água e argila bentonita (pertencente à família das montmorilonitas) extraída de depósitos naturais, essa lama exibe propriedades tixotrópicas, conferindo-lhe características impermeabilizantes. Contudo, para realizar o descarte desse fluido após a sua utilização em obras, desenvolveu-se o processo de Floculação. Esse procedimento consiste na separação da argila e água, permitindo o retorno da argila para a natureza através do descarte em aterros de classe II-B, enquanto a água resultante requer tratamento antes de ser descartada em rede de águas pluviais, seguindo a resolução 430/2011 do CONAMA. Desse modo, este artigo apresenta um estudo de caso de uma obra com certificação LEED, localizada em São Paulo/SP, na qual a parede diafragma foi empregada como sistema de contenção. A eficácia do tratamento da água utilizada foi desenvolvida, aplicada e testada através de ensaios laboratoriais, comprovando sua eficiência em questão.

PALAVRAS-CHAVE: Lama bentonítica; Contenção; Parede diafragma; Floculação; Tratamento de efluente.

ABSTRACT: In scenarios of intense urbanization and optimization of space in large cities, soil retention structures have become fundamental. Among the various types, diaphragm walls stand out. The construction of this type of structure requires the use of stabilizing fluids to excavate the panels, with bentonite slurry being one of the most versatile. Composed of water and bentonite clay (belonging to the montmorillonite family) extracted from natural deposits, this slurry exhibits thixotropic properties, giving it waterproofing characteristics. However, to dispose of this fluid after its use in construction, the Flocculation process was developed. This procedure involves separating the clay and water, allowing the clay to return to nature through disposal in Class II-B landfills, while the resulting water requires treatment before being discharged into stormwater networks, following CONAMA Resolution 430/2011. Thus, this article presents a case study of a LEED-certified project located in São Paulo/SP, Brazil, where diaphragm walls were employed as a containment system. The effectiveness of the water treatment used was developed, applied, and tested through laboratory tests, proving its efficiency.

KEYWORDS: Bentonite slurry; Soil Containment; Diaphragm wall; Flocculation; Effluent treatment.

1 INTRODUÇÃO

O descarte de resíduos sólidos gerados em construções, é um dos principais assunto quando trata-se de questões referentes ao impacto ambiental na indústria da construção civil. Com o aumento das preocupações ambientais, surge a necessidade de optar por métodos que minimizam as consequências do despejo irregular

desses materiais. A título de exemplo, em atividades como escavação de parede diafragma e estacas escavadas, é utilizada a lama bentonítica durante o processo, sendo necessário o controle do descarte desse resíduo após o uso. Entretanto, devido à sua característica tixotrópica, o descarte da lama pode causar problemas de impermeabilização do solo destinado a receber esse material. Desse modo, para evitar danos ambientais após o descarte, surge a necessidade de realizar o processo de floculação da lama, separando-a da água para ser misturada ao solo. Contudo, para a água empregada nesse procedimento ser descartada de modo correto em rede pluvial ou reutilizada, é importante realizar o tratamento desse fluido, com a finalidade de remover os resíduos existentes para posterior descarte regular.

Com o propósito de propiciar maior percepção referente ao estudo apresentado no seguinte trabalho, será demonstrado um caso de obra realizada na cidade de São Paulo/SP, no qual utilizou-se um método para tratar a água empregada na escavação de parede diafragma, elemento executado em serviço de contenção.

1.1 Lama Bentonítica e suas propriedades

Com granulometria ultrafina, as bentonitas são argilo-minerais pertencentes à família das montmorilonitas. Encontradas em depósitos naturais, as principais jazidas de bentonita em operação no Brasil estão localizadas no Estado da Paraíba, no município de Boa Vista. Devido a sua alta capacidade de inchamento, característica responsável por evitar o desmoronamento do solo, a bentonita é utilizada para garantir a estabilidade durante o processo de escavação. Em relação a sua formação, esses argilo-minerais possuem uma ponte catiônica, o que permite distinguir entre bentonitas sódicas (empregadas na execução de fundações) e cálcicas (produzem lamas pouco estáveis), dependendo do cátion permutável presente (CAPUTO, 1980). A combinação de bentonita com água pura, e com o auxílio de misturadores de alta turbulência, desencadeia reações de hidratação e expansão das partículas de bentonita, resultando na formação de uma suspensão coloidal, que é responsável pelo efeito estabilizante da lama.

Quando misturada com água, a bentonita apresenta duas características que determinam a sua utilização na técnica de escavação. A formação do "Cake" é uma característica das argilas montmorilonitas. Isso envolve a criação de uma fina camada ao longo da parede da escavação, que age como uma espécie de "impermeabilização" da superfície, permitindo a aplicação de uma pressão de dentro para fora da escavação para mantê-la estável (MAFFEI, 1998).

A segunda característica é conhecida como Tixotropia. Essa propriedade refere-se à capacidade do material de sofrer uma transformação isotérmica e reversível em sua viscosidade, ou seja, comportar-se como um fluido quando agitado e como um gel quando em repouso.

Utilizada como fluido estabilizante durante a escavação de parede diafragma, a lama bentonítica desempenha um papel crucial ao fornecer suporte por meio de empuxo ativo, além de manter os detritos da desagregação do terreno suspensos ao longo de todo o processo, minimizando assim a deposição no fundo da escavação ou nas tubulações (apenas no caso da lama Bentonítica), e sendo facilmente bombeável dando lugar ao concreto durante a concretagem (SAES, 1998).

2 RECICLAGEM DA LAMA BENTONÍTICA

O método de reciclagem da lama bentonítica tem como finalidade de reduzir a quantidade de areia e outros resíduos sólidos suspensos que se incorporam na mistura durante a escavação. No entanto, apesar de separar a lama dos demais componentes no decorrer da reciclagem, as propriedades físico-químicas da bentonita são mantidas, garantindo assim a utilização da mesma lama bentonítica na escavação de outros painéis na própria obra, resultando na diminuição da quantidade de água e material a ser descartado.

2.1 Processo de reciclagem

O processo começa no reciclador (Figura 1), responsável por agitar a lama - acrescida das partículas do solo (areia, argila, silte etc.) - sobre peneiras vibratórias, que removem os sólidos de maiores dimensões. Logo após, é necessário separar os materiais de diferentes densidades. Para isso, a lama é bombeada até o ciclone (de circulação forçada) até que o material esteja "limpo". Ao concluir essa etapa, a lama está adequada para ser armazenada em silos, ao passo que os materiais resultantes da reciclagem e provenientes da escavação são descartados.



Figura 1 – Vista do Reciclador

2.2 Reutilização e descarte adequado

Com a reutilização do fluido estabilizante durante escavações, seja dos painéis da parede diafragma ou estacas escavadas, esse material poderá apresentar alterações na quantidade de partículas de outras argilas existentes no solo incorporadas, aumentando assim a sua densidade. Desse modo, a lama bentonítica poderá exceder os limites estabelecidos pela ABNT NBR 6122/2019, conforme apresentado na Tabela 1.

PROPRIEDADES	VALORES	EQUIPAMENTOS
Densidade	1,025g/cm ³ a 1,10 g/cm ³	Densímetro
Viscosidade	30s a 90s	Funil de marsh
pH	7 a 11	Indicador de pH
Teor de areia	≤3%	Baroid sand ou similar

Tabela 1 – Propriedades da lama bentonítica – ABNT NBR 6122/2019

Caso os níveis de partículas incorporadas a lama estejam além da quantidade máxima definida, o descarte não será permitido em qualquer aterro e, apesar de ser um material inerte, a lama possui propriedade “impermeabilizante”, não atendendo, portanto, aos critérios da Classe II B da ABNT 10004.

Desse modo, para realizar o descarte adequado, atendendo aos fatores definidos na ABNT NBR 10004 e na resolução CONAMA 430/2011, é necessário misturar um material floculante à lama bentonítica para separá-la, possibilitando assim o descarte correto. Essa mistura é feita através de um floculador, vide figura 2, processo conhecido como Floculação.



Figura 2 - Vista do floculador

Após a floculação, a água resultante do processo é tratada e, posteriormente, direcionada para redes pluviais. Considerada adequada para reutilização, podendo também ser utilizada em serviços da obra, tais como: lavagem de materiais, equipamentos, irrigação de áreas verdes, entre outros. Ademais, o descarte do material sólido derivado do processo poderá ser feito junto com o material escavado e destinados ao aterro conforme procedimentos regulamentados.

3 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

Visando um gerenciamento adequado, a ABNT NBR 10004 estabelece especificações referentes aos potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde pública dos resíduos sólidos, classificando-os conforme características apresentadas. Sendo assim, os resíduos são classificados em: a) resíduos classe I - perigosos; b) resíduos classe II - não perigosos, subdivididos em resíduos classe II A - não inertes e resíduos classe II B - inertes.

Em virtude da propriedade de não apresentar alterações físicas, químicas ou biológicas ao entrar em contato com água destilada ou deionizada, a lama bentonítica é classificada como um resíduo inerte classe II B. Isso ocorre porque as montmorilonitas sódicas têm capacidade de expansão e possuem características impermeabilizantes que, em contato com o solo, podem representar um risco ambiental se o descarte for feito de maneira irregular. Embora não seja considerado como um material perigoso entre as classes mencionadas, é de suma relevância o tratamento adequado desse fluido estabilizante antes do descarte.

3.1 Regras para descarte de resíduos e efluentes

De acordo com a Resolução CONAMA 430/2011, caracterizam-se como efluentes os despejos líquidos oriundos de atividades ou processos. Sendo assim, para garantir o descarte e lançamento de efluentes de modo adequado, a Resolução mencionada estabelece padrões e exigências, de forma que não prejudique o meio ambiente. Para tanto, o lançamento em corpos receptores só poderá ocorrer após a passagem desses efluentes pelo tratamento necessário, seguindo as condições definidas. Entretanto, em casos em que as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e finais do enquadramento não sejam atendidas, os efluentes não podem ser despejados no corpo hídrico superficial designado a recebê-los.

Conforme os padrões exigidos pela Resolução, descritos no Art. 16, destacam-se as condições para o lançamento de efluentes, os quais estabelecem que o pH dos efluentes deve estar entre 5 e 9, e a temperatura deve ser inferior a 40°C, não excedendo uma variação de 3°C em relação à temperatura do corpo receptor na zona de mistura. É permitida a presença de até 1 mL/L de materiais sedimentáveis em um teste de 1 hora em cone Imhoff. Em casos de lançamentos em lagos e lagoas, onde é praticamente nula a velocidade de circulação, os materiais sedimentáveis devem estar virtualmente ausentes. A vazão máxima permitida para o lançamento deve ser de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto em casos em que há permissão da autoridade competente.

4 DESCARTE E MEIO AMBIENTE

O processo de tratamento e descarte da lama bentonítica é de suma importância quando o assunto é sustentabilidade e, realizando-os de maneira correta de acordo com as diretrizes estabelecidas de reciclagem do material, esses procedimentos podem trazer impactos positivos ao meio ambiente.

O descarte desse material tratado em aterros regulamentados diminui significativamente os efeitos que as propriedades físico-químicas da bentonita podem causar no solo. O tratamento correto e o direcionamento da lama bentonítica a depósitos apropriados, evita a extinção de seres da fauna e flora, uma vez que, por possuir a característica de formação de "Cake", esta pode causar preenchimento dos solos em locais não autorizados para destinação do descarte. Além disso, ao passar pelo processo de reciclagem antes do descarte, os componentes que tornam a lama bentonítica mais densa e, por conseguinte, com uma maior velocidade de sedimentação são retirados, evitando assim a possibilidade de provocar o impedimento da oxigenação, caso esse material seja descartado de forma irregular em corpos receptores.

Com o aumento da utilização da lama bentonítica na construção civil, diversos métodos estão sendo desenvolvidos para aproveitar o material após o tratamento. Uma dessas técnicas refere-se à forma de acomodar os resíduos em aterros. Devido à sua alta plasticidade, baixa permeabilidade e capacidade de troca

de cátions, a lama bentonítica pode ser uma alternativa sustentável na aplicação em aterros, atuando como impermeabilizante do solo nesses locais.

5 CASO DE OBRA - TRATAMENTO E DESCARTE DE FLUÍDO ESTABILIZANTE UTILIZADO NA EXECUÇÃO DE PAREDE DIAFRAGMA MOLDADA “IN LOCO” PARA CONTENÇÃO

Para viabilizar a construção de um edifício comercial com cinco subsolos, situado na zona Sul da cidade de São Paulo, foi realizada a contenção em parede diafragma atirantada com o intuito de conter os esforços e as tensões provenientes do solo durante a fase de escavação. Para isso, foram instalados aproximadamente 1.001,78 m³ de painéis com espessura de 40cm “moldados in loco” seguindo todo o perímetro útil do terreno.

Para a construção da estrutura de contenção, foram executados 47 painéis com comprimentos variando de 13,50 a 16,50 metros, e com larguras variando de 3,20 a 5,20 metros, dependendo da disposição dos tirantes. Para avaliar as características do solo, foi realizada sondagem utilizando equipamento rotativo e percussivo. Essa análise proporcionou dados sobre o nível do terreno, situado entre as cotas +100,01 metros e +101,22 metros, além da identificação e caracterização das camadas de solo presentes.

Com o intuito de analisar o solo encontrado na região, utilizou-se a sondagem S4 (figura 3) em questão. A camada subsequente, com cerca de 5 (cinco) metros de profundidade da camada mencionada anteriormente, consistia em solo de areia fina argilosa, fofa a medianamente compacta e cinza. Logo após, a uma profundidade de 13,52 metros do nível do terreno, identificou-se um solo composto por silte arenoso argiloso, micáceo, medianamente compacto a muito compacto, de coloração cinza e amarela (solo residual).

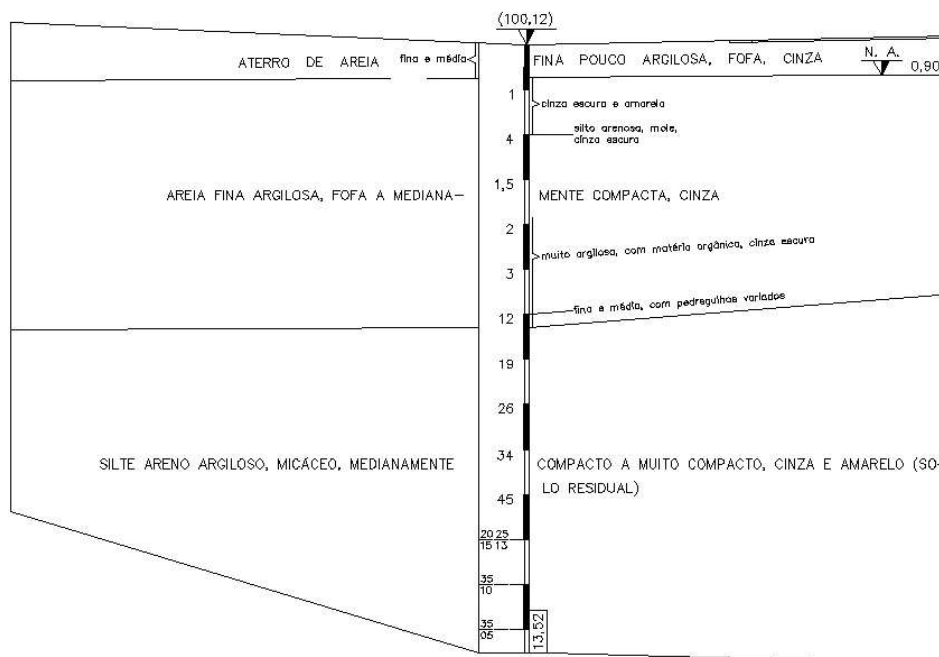


Figura 3 – Sondagem S4

Para garantir a estabilidade no processo de escavação dos painéis da parede diafragma, foi utilizada a lama bentonítica como fluido estabilizante. Com o objetivo de realizar o descarte ambientalmente correto da lama após o processo de escavação, seguindo as diretrizes estabelecidas na Resolução CONAMA 430/2011, foi adotado o método de floculação, garantindo assim o tratamento da água utilizada no procedimento.

A fim de separar a argila bentonítica da água, foi utilizado o Floculador, responsável por agitar e aglomerar as partículas. No processo de Floculação, o motor-reductor do floculador aciona a haste central e as palhetas, iniciando a agitação dessa mistura, conforme figura 4. Ao adicionar o material floculante, observou-se a formação de flocos que, por serem mais densos água, passam pelo processo de decantação no fundo do

reservatório após etapa de agitação.

Após retirar o material sólido do Floculador, foi realizada a mistura com o solo derivado do processo de escavação e, posteriormente, descartados em aterro. Entretanto, é necessário realizar o tratamento da água proveniente do processo de floculação. Para isso, a água residual passou por um processo de filtragem, utilizando o filtro de brita e, em seguida, destinada ao coagulador. Nessa etapa, foi adicionado coagulante na água em repouso, sendo submetida logo depois ao processo de agitação para mistura dos elementos até formar flocos, como mostrado na figura 5.



Figura 4 – Processo de mistura na etapa de floculação



Figura 5 – Amostra de afluente após coagulação

Para retenção dos flocos de menor dimensão formados por suspensão coloidal, a água residual foi encaminhada ao filtro de areia tratada (figura 6), o qual realiza a filtragem de forma inversa, ou seja, de baixo para cima. Devido a essa condição, o filtro demanda de uma maior pressão para superar a carga da areia. Desse modo, o processo foi dado como finalizado, o qual foi possível obter uma água própria para reuso, conforme classificação CONAMA 430/2011.



Figura 6 - Filtragem em filtro pressurizado de areia tratada

6 RESULTADOS ANALÍTICOS

A fim de avaliar a eficácia do procedimento executado, foram coletadas amostras em diferentes períodos do processo. A primeira coleta refere-se ao fluido estabilizante utilizado na escavação, antecedendo a entrada no processo de floculação. Já a segunda amostra, corresponde ao fluido após a fase de floculação e tratamento da água residual. A tabela 2 apresenta os valores obtidos em ambas as amostragens, comparando-as com os valores dos parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/2011.

PARÂMETRO	CONAMA Nº 430 - art 16	Resultado Analítico 1 (amostra de lama bentonítica)	Resultado Analítico 2 (amostra de efluente tratado)
Fluoreto	10 mg/L	0,897 mg/L	1,014 mg/L
Sólidos Sedimentáveis	1 mL/L	850 mL/L	0,2 mL/L
Óleos Minerais	20 mg/L	<5,0 mg/L	<5,0 mg/L
Óleos Vegetais e Gorduras Animais	50 mg/L	<5,0 mg/L	<5,0 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	---	54,0 mg/L	<2,0 mg/L
Cianeto Total	1 mg/L	<0,02 mg/L	<0,02 mg/L
Cianeto Livre	0,2 mg/L	<0,02 mg/L	<0,02 mg/L
Nitrogênio Amoniacal Total	20 mg/L	<5,0 mg/L	<5,0 mg/L
Sulfeto	1 mg/L	<0,05 mg/L	<0,05 mg/L
Fenóis Totais (Índice de Fenóis)	0,5 mg/L	<0,15 mg/L	<0,15 mg/L
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	---	1038,6 mg/L	33,2 mg/L
Arsênio (As)	0,5 mg/L	<0,010 mg/L	<0,010 mg/L
Bário (Ba)	5 mg/L	1,118 mg/L	0,056 mg/L
Boro (B)	5 mg/L	<0,010 mg/L	<0,010 mg/L
Cádmio (Cd)	0,2 mg/L	0,001 mg/L	<0,001 mg/L
Chumbo (Pb)	0,5 mg/L	0,067 mg/L	<0,010 mg/L
Cobre Dissolvido (Cu)	1 mg/L	0,051 mg/L	<0,009 mg/L
Cromo (Cr)	---	0,233 mg/L	<0,010 mg/L
Cromo Hexavalente	0,1 mg/L	0,05 mg/L	<0,05 mg/L
Cromo Trivalente	1 mg/L	0,233 mg/L	<0,010 mg/L
Estanho (Sn)	4 mg/L	<0,010 mg/L	<0,010 mg/L
Ferro Dissolvido (Fe)	15 mg/L	11,889 mg/L	<0,010 mg/L
Manganês Dissolvido (Mn)	1 mg/L	2,013 mg/L	<0,010 mg/L
Merúrio (Hg)	0,01 mg/L	<0,00020 mg/L	<0,00020 mg/L
Níquel (Ni)	2 mg/L	0,075 mg/L	<0,010 mg/L
Prata (Ag)	0,1 mg/L	<0,010 mg/L	<0,010 mg/L
Selênio (Se)	0,3 mg/L	<0,010 mg/L	<0,010 mg/L
Zinco (Zn)	5 mg/L	0,655 mg/L	<0,010 mg/L
Benzeno	1,2 mg/L	<0,010 mg/L	<0,010 mg/L
Clorofórmio	1 mg/L	0,017 mg/L	0,017 mg/L
Dicloroetenos (1,1-Dicloroetano + Cis-1,2-Dicloroetano + Trans- 1,2-Dicloroetano)	1 mg/L	<0,0020 mg/L	<0,0020 mg/L
Estireno	0,07 mg/L	<0,0020 mg/L	<0,0020 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L	<0,0010 mg/L	<0,0010 mg/L
Tetracloroeto de Carbono	1 mg/L	<0,0010 mg/L	<0,0010 mg/L
Tricloroetano	1,00 µg/L	<1,00 µg/L	<1,00 µg/L
Tolueno	1,2 mg/L	<0,0010 mg/L	<0,0010 mg/L
Xilenos Totais	1,6 mg/L	<0,0020 mg/L	<0,0020 mg/L
pH	5-9	6,5	8,15
Temperatura da Amostra	40 °C	24,8 °C	24,2 °C
Materiais Flutuantes	Ausente P/A	Ausente -	Ausente -

Tabela 2 – Resultados analíticos das amostras

Dentre os resultados obtidos das amostras coletadas, é possível analisar uma alteração positiva em relação aos parâmetros exigidos, conforme destacados em vermelho na tabela abaixo. Observou-se uma diminuição significativa em relação aos valores de sólidos sedimentáveis, que diminuíram de uma porção de 850 mL/L para 0,2 mL/L. Além disso, foi observada uma redução nos níveis de diversos metais pesados, como chumbo e manganês, adequando-se aos padrões exigidos pela Resolução CONAMA 430/2011.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta presente nesse trabalho, a criação de um método efetivo para o tratamento da lama bentonítica, permite concluir e sugerir direções para futuras pesquisas nesse campo, tendo como princípio a utilização da lama bentonítica como fluido estabilizante em obras de escavação de contenção.

Inicialmente, foram apresentadas características da bentonita e propriedades quando em contato com a água, formando assim a argila bentonítica, sendo demonstrado o seu desempenho como fluido estabilizante em processos de escavação. Para uma análise prática e detalhada, foi apresentado um estudo de caso que

aplicou o método de tratamento do fluido estabilizante e do efluente, através do processo de floculação, como principal abordagem para o desenvolvimento do estudo, seguindo as diretrizes da Resolução CONAMA 430/2011 e as especificações da ABNT NBR 10004.

Considerando o tratamento utilizado e, ao seguir as normas mencionadas para o descarte dos resíduos e efluentes gerados pela utilização da lama bentonítica, é possível garantir a redução do impacto ambiental, assegurando que esses produtos não afetem negativamente os ecossistemas. A busca por alternativas que preservem e diminuam o impacto causado no meio ambiente é de suma relevância na área da construção civil, a fim de tornar construções cada vez mais sustentáveis e adequadas aos padrões e regulamentações exigidas pelas normas dirigentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E GEOTECNIA. **Manual de execução de fundações e geotecnia - Práticas recomendadas**. 1 ed. São Paulo, Pini, 2012.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122 - **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro. 2010.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004 - **Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro. 2004.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 430, de 13/05/2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.
- CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: Fundamentos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc Editora, 1996. 244 p.
- FARECE et al., **A argila bentonítica atuando como impermeabilizante em base de aterros sanitários**. Revista Engenharia de Interesse Social, Minas Gerais, Vol. 1, Num. 1, p. 1-12, 2016.
- MAFFEI, C. E. M.; *et al.* **Análise, projeto e execução de escavações e contenções**. In: HACHICH, Waldemar et al. (Org.). **Fundações: Teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998. cap. 15, p. 537-581.
- MAGALHÃES, M.S. **Dimensionamento de estruturas de contenção atirantadas utilizando os métodos de equilíbrio limite e elementos finitos**. 2015. 189 p. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) - Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=26066@1>. Acesso em: 18 mar. 2018.
- RANZINI, S. M. T.; NEGRO Jr, A. **Obras de contenção: Tipos, métodos construtivos, dificuldades executivas**. In: HACHICH, Waldemar et al. (Org.). **Fundações: Teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998. cap. 13, p. 497-516.
- SAES, J. L.; *et al.* **Execução de fundações profundas**. In: HACHICH, Waldemar et al. (Org.). **Fundações: Teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998. cap. 9, p. 329-408.