XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/66

Avaliação da estabilização de argila montmorilonítica por adição de lodo de ETA

Henrique Araujo Moura Brito [1]
Graduando em Engenharia Civil, IFTO, Palmas-TO, Brasil, henrique.brito@estudante.ifto.edu.br

Hugo Lopes Pereira [2]
PEBTT, IFTO, Palmas-TO, Brasil, hugo.pereira1@ifto.edu.br

Flávio da Silva Ornelas [3]
PEBTT, IFTO, Palmas-TO, Brasil, flavioornelas@ifto.edu.br

José Ademilson dos Santos Junior [4]
TAE, IFTO, Palmas-TO, Brasil, jose.santos@ifto.edu.br

RESUMO: Argilas expansivas, principalmente aquelas com predominância de montmorilonita, apresentam elevada sensibilidade à variação do teor de umidade, resultando em perda de resistência e instabilidade geotécnica. Nesse contexto, o presente trabalho avaliou a eficiência da adição de lodo de estação de tratamento de água (ETA) na estabilização de uma argila com potencial montmorilonítico, empregando uma metodologia experimental simples e de baixo custo. A caracterização indireta da atividade da fração argilosa foi realizada por meio do ensaio de adsorção por azul de metileno, enquanto o comportamento geotécnico da argila natural e das misturas solo-lodo foi avaliado pelo método MCT das pastilhas, considerando teores de lodo de 0%, 5%, 10%, 20% e 30%, com análise da penetração, fraturamento e contração diametral após reidratação. A adição de lodo de ETA promoveu melhoria do comportamento mecânico e da integridade estrutural das pastilhas, sendo que teor de 5% de lodo, apresentou os menores valores de penetração e fraturamento com maior uniformidade entre os corpos de prova. A pesquisa evidenciou o potencial do lodo de ETA como agente estabilizante, demonstrando a aplicabilidade do método como ferramenta de apoio à definição experimental de dosagens ótimas em estudos geotécnicos preliminares.

PALAVRAS-CHAVE: Argilas expansivas, Estabilização química, Lodo de ETA, Método MCT.

ABSTRACT:

Expansive clays, particularly those with a predominance of montmorillonite, are highly sensitive to variations in moisture content, which may result in loss of strength and geotechnical instability. In this context, this study evaluated the efficiency of adding water treatment plant (WTP) sludge to stabilize a clay with montmorillonite potential, using a simple and low-cost experimental methodology. The indirect characterization of the clay fraction activity was carried out using the methylene blue adsorption test, while the geotechnical behavior of the natural clay and soil-sludge mixtures was assessed using the MCT tablet method. Sludge contents of 0%, 5%, 10%, 20%, and 30% were investigated, with analyses of penetration resistance, fracturing, and diametral contraction after rehydration. The results showed that the addition of WTP sludge improved the mechanical behavior and structural integrity of the tablets. The mixture containing 5% sludge exhibited the lowest penetration values and the most uniform behavior among the specimens, indicating the occurrence of an optimal stabilization content for the studied clay. The study highlights the potential of WTP sludge as a stabilizing agent and demonstrates the applicability of the proposed methodology as a practical tool to support the experimental definition of optimal dosages in preliminary geotechnical studies.

KEYWORDS: Expansive clays, Chemical stabilization, Water treatment sludge, MCT method.

1 INTRODUÇÃO

Argilas expansivas representam um dos principais desafios geotécnicos em obras de infraestrutura, em função da variação volumétrica associada às mudanças no teor de umidade, resultando em perda de resistência e instabilidade estrutural. Entre os argilominerais responsáveis por esse comportamento, destaca-se a montmorilonita, pertencente ao grupo das esmectitas, caracterizada por elevada área superficial específica e alta capacidade de troca catiônica, fatores que favorecem a adsorção de água e a expansão volumétrica (JONES; JEFFERSON, 2012; BORGES *et al*., 2023).

A estabilização de solos expansivos pode ser realizada por meio de adições químicas cimentícias, técnicas de estabilização mecânica, ou pelo emprego de estabilizantes não convencionais, como óleos sulfonados, compostos de potássio, compostos de amônio e polímeros, visando à redução da plasticidade, da expansividade e à melhoria das propriedades resistentes do solo (JONES; JEFFERSON, 2012).

Entretanto, os custos elevados associados às técnicas convencionais de estabilização de solos expansivos têm motivado a busca por alternativas mais econômicas. Nesse contexto, tem-se avaliado a utilização de resíduos sólidos como agentes estabilizantes de solos, abordagem que também é impulsionada pela necessidade de adoção de práticas ambientalmente sustentáveis e pela possibilidade de reaproveitamento de materiais anteriormente tratados como passivos ambientais. Essa estratégia está associada às diretrizes estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, que prioriza a redução, o reuso e a reciclagem de resíduos, bem como às restrições legais ao descarte inadequado desses materiais no meio ambiente (BRASIL, 2010; ACHON; CORDEIRO, 2015).

Lucena *et al*. (2016) e Lucena *et al*. (2017) demonstraram que a utilização de lodo gerado em estações de tratamento de água (ETA) na estabilização química de solos expansivos pode resultar não apenas em benefícios ambientais, mas também na melhoria do comportamento geotécnico dos solos tratados. O lodo de ETA, classificado como resíduo proveniente de serviços públicos de saneamento básico, deve ser gerenciado segundo as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Entretanto, a destinação final desse resíduo é, em geral, associada a elevados custos operacionais, o que reforça a importância de se avaliar sua utilização como material alternativo para a melhoria das propriedades geotécnicas de solos empregados em obras de engenharia. (ACHON; CORDEIRO, 2015).

O lodo gerado em ETA é um resíduo sólido resultante, principalmente, das etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração da água bruta, sendo constituído, em grande parte, por partículas minerais finas e hidróxidos metálicos. Em função dos produtos químicos empregados no tratamento da água, esse material apresenta composição predominante de compostos à base de alumínio e ferro, associados às impurezas removidas durante o processo de clarificação (CUNHA *et al*., 2019).

A hipótese dessa pesquisa baseia-se na premissa de que a presença de cátions multivalentes no lodo gerado em ETAs, como Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+} e Fe^{3+}, pode favorecer mecanismos de estabilização em argilas montmoriloníticas. Esses cátions têm origem, principalmente, nos coagulantes à base de sais de alumínio e ferro empregados nas etapas de coagulação e floculação do tratamento da água, bem como nos constituintes minerais associados ao processo (ACHON; CORDEIRO, 2015; CUNHA *et al*., 2019). A substituição de cátions monovalentes por cátions multivalentes tende a promover a compressão da dupla camada montmorilonítica, reduzindo o espaçamento interlamelar e, consequentemente, a quantidade de água adsorvida entre as lâminas cristalinas (MITCHELL; SOGA, 2005; JONES; JEFFERSON, 2012).

Diante desse cenário, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da adição de lodo de ETA na estabilização de uma argila com potencial montmorilonítico, definido a partir do ensaio de adsorção por azul de metileno como ferramenta de caracterização indireta da atividade da fração argilosa. Para análise das melhorias geotécnicas com a redução da atividade da argila, utilizou-se o método MCT das pastilhas para diferentes percentuais de adição de lodo, com foco na análise da expansividade, da penetração ao longo do tempo e da contração após secagem. Os resultados visam contribuir para o entendimento do potencial do lodo de ETA como agente estabilizante, bem como para a ampliação de alternativas sustentáveis na geotecnia ambiental.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O lodo de ETA foi obtido diretamente da unidade operacional, proveniente das etapas de coagulação e decantação. O material foi previamente seco em estufa a 60 °C por 24 h, destorroado manualmente e peneirado na peneira nº 200.

A argila utilizada no estudo tem histórico de comportamento expansivo in loco. Adotou-se o ensaio de adsorção por azul de metileno como método indireto para avaliação da atividade da fração argilosa e inferência sobre a possível predominância de montmorilonita. O método baseia-se na adsorção preferencial do corante catiônico azul de metileno pelas superfícies carregadas negativamente dos argilominerais, sendo particularmente sensível à presença de minerais do grupo das esmectitas.

A solução de azul de metileno (CI 52015, monohidratado, pureza 88%) foi preparada na concentração nominal de 1 g/L, correspondendo a concentração efetiva de 0,88 g/L. A superfície específica (SE) foi estimada pelas expressões clássicas apresentadas por Beaulieu (1979) e Fabbri (1994), com correção da concentração pela pureza do reagente, conforme as Equações 1 e 2.

$$S = \frac{A.N.m}{Mam.1000} \tag{1}$$

Onde:
S = Superfície recoberta por um 1 ml de azul de metileno na concentração utilizada (m²/ml);
A = Área da face da molécula de azul de metileno na concentração utilizada (130 Å²);
N = Número de Avogadro (6,02 x 10^{23});
M = Massa do azul de metileno seco (g);
Mam = Massa molecular do azul de metileno na forma anidra (319,9 g).

$$SE = \frac{S.V}{M} \tag{2}$$

Onde:
SE = Superfície específica (m²/g);
V = Volume do azul de metileno consumido (ml)
M = Massa do solo seco (g);

O ensaio foi conduzido segundo o procedimento da mancha em papel filtro, com adição gradual de solução aquosa de azul de metileno à suspensão de solo, até a identificação do ponto de saturação, caracterizado pela formação de um halo azul claro ao redor da gota depositada no papel filtro. Esse procedimento segue as recomendações propostas por Fabbri (1994), amplamente utilizadas em estudos aplicados à classificação MCT.

A avaliação do comportamento geotécnico da argila natural e das misturas solo-lodo foi realizada por meio do método MCT (Miniatura Compactado Tropical), utilizando-se o método expedito das pastilhas, conforme proposto originalmente por Nogami e Villibor (1981, 1994) e posteriormente sistematizado e adaptado por Fortes (1990), Godoy (1997) e D'Ávila, Hax e Freitas (2009). Esse método foi desenvolvido especificamente para a caracterização de solos tropicais, permitindo a avaliação indireta de propriedades relacionadas à expansibilidade, contração, permeabilidade e resistência.

As amostras de solo e de lodo de ETA foram previamente secas em estufa à temperatura de 60 °C por 24 horas. Após a secagem, os materiais foram destorroados manualmente e peneirados na peneira nº 40. As misturas solo-lodo foram preparadas para cinco teores de adição de lodo de ETA: 0%, 5%, 10%, 20% e 30%.

As misturas das frações finas para os diferentes teores de lodo foram umedecidas com água destilada e espatulada sobre placa de vidro até a obtenção de uma pasta homogênea. O ponto de moldagem foi definido com base na consistência ajustada para proporcionar uma penetração de aproximadamente 1 mm, medida com auxílio de um minipenetrômetro (NOGAMI; VILLIBOR, 1994)

As pastilhas foram moldadas em anéis de PVC rígido, com diâmetro interno médio de 21,6 mm e espessura aproximada de 5 mm, previamente lubrificados com vaselina. Para cada teor de lodo foram moldadas cinco pastilhas, totalizando 25 corpos de prova. Após a moldagem, as pastilhas foram submetidas à secagem natural por um período de 7 dias.

Após a secagem, foram realizadas medições da contração diametral (Ct), definida pela diferença entre o diâmetro interno médio do anel e o diâmetro médio da pastilha seca, conforme metodologia clássica do método MCT. A penetração foi avaliada por meio do ensaio de penetração com minipenetrômetro (massa = 10 g; agulha com diâmetro = 1,3 mm) aplicado na região central das pastilhas, em intervalos de 5, 15, 30, 60 e 120 minutos, além da leitura final após 24 horas de reidratação. Foram também registradas e quantificadas o surgimento de trincas após a reidratação (FORTES, 1990; GODOY, 1997).

Os valores de penetração e número de fraturas foram utilizados para análise do comportamento da argila natural e das misturas solo-lodo, com foco na expansibilidade, sensibilidade à água e resistência à penetração, parâmetros diretamente relacionados à classificação MCT e ao desempenho geotécnico de solos tropicais em obras de engenharia (NOGAMI; VILLIBOR, 1981, 1994, 1995; GODOY, 1997).

3 RESULTADOS

O consumo total de azul de metileno de 300 mL na concentração de 1 g/l, resultou no valor de azul para um grama de fração de argila (Va) = 132 x 10^{-3} g/g. A superfície específica foi estimada conforme Fabbri (1994), com correção pela concentração efetiva da solução utilizada, obtendo-se SE ≈ 323 m²/g.

Não foi possível, no âmbito deste trabalho, determinar diretamente o percentual da fração argila com diâmetro inferior a 0,002 mm. Em razão disso, o coeficiente de atividade (CA) não pôde ser calculado de forma direta. Entretanto, a partir do ensaio de lavagem na peneira nº 400, verificou-se que o material apresenta retenção mínima de 16,97%, permitindo estimar um valor mínimo para o coeficiente de atividade, resultando em CA_{min}= 159 g/g%.

A comparação desses resultados com os valores de referência apresentados por Fabbri (1994) (Quadro 1), indica elevada atividade da fração argilosa, compatível com a presença significativa de argilominerais 2:1 expansivos (esmectitas), ainda que potencialmente em mistura.

Quadro 1. Parâmetros de atividade argilosa e adsorção de azul de metileno para diferentes grupos de argilominerais.

Grupos de argilo-minerais	Superfície específica (m²/g)	Coeficiente de atividade (10^{-3}g/g%)	Valores de azul (10^{-3}g/g)	Grau de atividade
Montmorilonitas	860	350	350	Muito Ativo
Vermiculitas	200	82	82	
Ilitas	200	30	30	Ativo
Caulinitas	48	20	20	
Laterizados	27	11	11	Pouco Ativo

Fonte: Fabbri (1994, p. 68).

O consumo elevado de azul de metileno foi interpretado como indicativo de alta atividade da fração argilosa, compatível com solos contendo argilominerais expansivos do grupo das esmectitas, em especial a montmorilonita.

Durante a execução do método MCT das pastilhas, as amostras moldadas com a argila passante na peneira nº 40, após o período de reidratação adotado de 24 h, apresentaram redução da resistência à penetração. As pastilhas também demonstraram fraturamento durante a reidratação, comportamento compatível com solos de elevada atividade coloidal (MITCHELL; SOGA, 2005). Por outro lado, após a adição do lodo de ETA percebeu-se melhoria do comportamento geotécnico da argila estudada, sobretudo no que se refere ao aumento da resistência à penetração e à integridade estrutural das pastilhas, como pode ser observado na Figura 1.

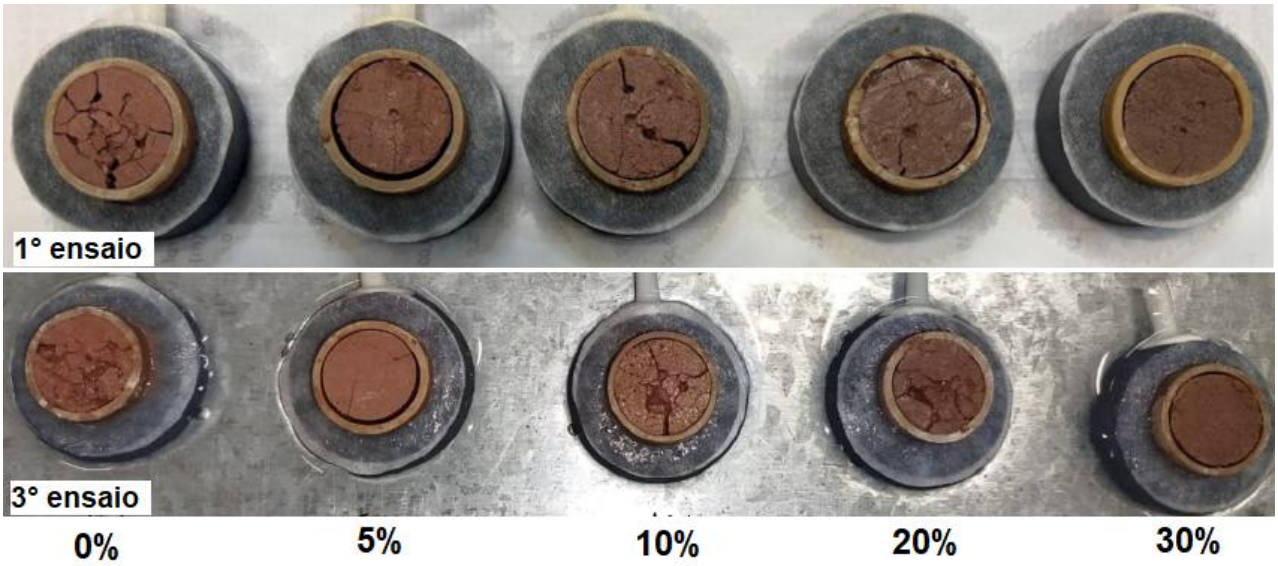


Figura 1. Aspecto das pastilhas do método após reidratação, para diferentes teores de lodo de ETA, referentes aos ensaios um e dois realizados (Fonte: os autores).

Os resultados do ensaio de penetração indicaram que a argila natural apresentou elevada redução de resistência superficial após reidratação, enquanto as misturas contendo lodo de ETA exibiram melhoria do comportamento mecânico. Destaca-se o teor de 5% de lodo, que apresentou os menores valores de penetração e comportamento uniforme entre os corpos de prova, sugerindo a ocorrência de um teor ótimo de estabilização para a referida argila. Para teores superiores, observou-se aumento da variabilidade dos resultados, possivelmente associado a heterogeneidades na mistura ou a efeitos físicos adversos decorrentes do excesso de resíduo.

Nas Tabelas 1 estão presentes os valores de penetração medidos, para os 5 ensaios realizados para os diferentes teores de adição de lodo. A Tabela 2 apresenta valores médios para os 5 ensaios realizados.

Tabela 1. Penetração das pastilhas MCT em função do teor de lodo de ETA.

	Penetração (mm)				
Teor de lodo	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5
0%	5	5	5	4	1
5%	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
10%	2	2	4	0,5	0
20%	2	1	3	0	4
30%	1	0,5	0,5	1	0

Tabela 2. Penetração média das pastilhas MCT em função do teor de lodo de ETA.

Teor de lodo	Penetração média (mm)	Desvio padrão	CV (%)
0%	4	1,73	43,3
5%	0,5	0	0
10%	1,7	1,57	92,1
20%	2	1,58	79,1
30%	0.6	0,42	69,7

Os resultados referentes ao número de fraturas observadas após o ensaio de reidratação indicaram elevado fraturamento da argila natural e, em um dos corpos de prova, perda total da integridade estrutural. A incorporação de lodo de ETA promoveu redução significativa do número de fraturas, com destaque para o teor de 5%, que apresentou os menores valores e comportamento uniforme entre as amostras. Para teores

intermediários, observou-se aumento da variabilidade dos resultados, enquanto para o teor de 30% verificou-se novamente melhora da integridade estrutural, ainda que sem superar o desempenho obtido com 5% de lodo.

Esses resultados associam-se aos obtidos por Mazzutti, Klamt e Faro (2023), os autores concluíram que a mistura composta por 70% de solo e 30% de lodo de ETA, definida como a melhor para aplicação em camadas de fundo e cobertura final de aterros sanitários devido a melhorias no coeficiente de permeabilidade e na resistência à compressão simples dentre todas as misturas.

Conforme Almeida *et al*. (2023), resultados distintos quanto ao teor ótimo de lodo têm sido reportados na literatura, variando desde baixos percentuais até valores superiores a 30%, a depender da aplicação e do material estudado, demonstrando que a aplicação geotécnica do lodo de ETA apresenta elevada variabilidade de comportamento.

Na Tabelas 3 estão presentes os números de fraturas medidos, para os 5 ensaios realizados para os diferentes teores de adição de lodo. A Tabela 4 apresenta valores médios para fraturamentos dos 5 ensaios realizados.

Tabela 3. Fraturamento das pastilhas MCT em função do teor de lodo de ETA.

Número de fraturas					
Teor de lodo	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5
0%	13	16	Desmanchou	5	1
5%	1	2	3	3	1
10%	3	3	11	2	1
20%	5	1	9	0	9
30%	1	0	1	3	0

Tabela 4. Número médio de fraturas das pastilhas MCT em função do teor de lodo de ETA.

Teor de lodo	N° médio de fraturas	Desvio padrão	CV (%)
0%	8,75	6,95	79,4
5%	2	1	50
10%	4	4	100
20%	4.8	4.27	88.9
30%	1	1.22	122.5

Conforme Tabela 5, não houve contração diametral em função do teor de lodo de ETA, mantendo-se em faixas semelhantes para todas as misturas, com valores médios de contração, entre 0,27 mm e 0,31 mm. Desse modo, a adição de lodo nos teores aqui adotados, não exerceu influência sobre a introdução de efeitos adversos associados à retração por secagem.

Tabela 5. Contração das pastilhas MCT em função do teor de lodo de ETA.

Contração diametral (mm)						
Teor de lodo	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	média
0%	0,27	0,28	0,3	0,31	0,33	0,30
5%	0,29	0,33	0,31	0,31	0,29	0,31
10%	0,3	0,35	0,25	0,3	0,35	0,31
20%	0,27	0,31	0,29	0,28	0,3	0,29
30%	0,27	0,24	0,3	0,26	0,27	0,27

A metodologia adotada permitiu captar o comportamento geotécnico da argila em função da adição de diferentes teores de lodo de ETA, podendo-se avaliar indiretamente a atividade da fração argilosa e identificar faixas de dosagem associadas à melhoria do desempenho do material, evidenciando o potencial do procedimento como ferramenta de apoio à definição de teores ótimos de estabilização, mesmo diante da elevada variabilidade inerente aos materiais analisados. No entanto, a eficiência da estabilização depende das características do lodo e do solo, e o desempenho não apresenta relação linear com o aumento da dosagem,

reforçando a necessidade de determinação experimental de um teor ótimo específico para cada combinação solo-resíduo (MONTALVAN, 2021).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia experimental aplicada permitiu a definição de teores ótimos de lodo de ETA para a estabilização de solos com potencial montmoriloníticos. Nesse sentido, o método apresenta-se como um instrumento prático, de apoio à decisão, especialmente útil em etapas preliminares de projetos de estabilização e de reaproveitamento de resíduos na geotecnia ambiental.

A adição do lodo de ETA promoveu melhoria do comportamento geotécnico da argila estudada, sobretudo no que se refere ao aumento da resistência à penetração e à integridade estrutural das pastilhas, com a diminuição ou ausência de ocorrência de fraturas, indicando aumento da coesão e melhoria do comportamento mecânico do material, o que evidencia o potencial do lodo como agente de estabilização química.

Entre os teores avaliados, a adição de 5% de lodo de ETA apresentou o melhor desempenho em termos de resistência à penetração, com comportamento altamente uniforme entre os corpos de prova. Recomenda-se que estudos futuros avaliem a aplicação da metodologia proposta em outros tipos de solos e lodos, considerando diferentes origens e composições, a fim de ampliar sua aplicabilidade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHON, C. L.; CORDEIRO, J. S. (2015) Destinação e disposição final de lodo gerado em ETA – Lei 12.305/2010. In: XIX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento, Poços de Caldas. Anais... ASSEMAE.

ALMEIDA, M. M.; LAUTENSCHLÄGER, C. E. R.; TONUS, B. P. de A. (2023) Revisão sobre as aplicações geotécnicas de lodo de estação de tratamento de água no Brasil. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 13, n. 2, p. 47–53. DOI: 10.29327/241867.13.2-4.

BEAULIEU, J. (1979) Identification géotechnique de matériaux argileux naturels par la mesure de leur surface au muyeu du bleu de méthylène. Tese (Doutorado), Université de Paris-Sud, Orsay, 133 p.

BORGES, J. J. da S.; HOLANDA, M. J. de O.; FERREIRA, S. R. de M.; AMORIM, S. F. (2023) Solos expansivos: carta de suscetibilidade de ocorrência no Brasil utilizando Rede Neural Artificial – RNA. Revista de Geografia (Recife), v. 40, n. 3, p. 119–140. DOI: 10.51359/2238-6211.2023.258626.

BRASIL (2010) Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília.

CUNHA, G. D.; LIMA, J. S. V.; STACHIW, R.; TRONCO, K. M. Q. (2019) Caracterização e destinação ambientalmente corretas do lodo gerado pelas estações de tratamento de água. Nature and Conservation, v. 12, n. 2, p. 19-30. DOI: 10.6008/CBPC2318-2881.2019.002.0003.

D'ÁVILA, R. S.; HAX, S.; FREITAS, P. C. (2009). Classificação expedita de materiais para vias não-pavimentadas – 5ª aproximação. In: CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – CONINFRA, 2009, São Paulo. Anais… p. 3–17.

FABBRI, G. T. P. (1994) Caracterização da fração fina de solos tropicais através da adsorção de azul de metileno. Tese (Doutorado em Transportes), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 176 p.

FORTES, R. M. (1980) Método expedito de identificação MCT de solos tropicais para finalidades rodoviárias, utilizando-se anéis de PVC rígido. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GODOY, H. (1997). Identificação e classificação geotécnica de latossolos do estado de São Paulo pelo método das pastilhas MCT. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo Instituto de Geociências, São Paulo, 144 p.

JONES, D.; JEFFERSON, I. (2012) Expansive soils. In: ICE Manual of Geotechnical Engineering. London: ICE Publishing, v. 1, p. 413–441.

LUCENA, L. C.; JUCA, J. F. T.; SOARES, J. B.; BARROSO, S. H. A.; PORTELA, M. G. (2016) Characterization and evaluation of the potential use of sludge from WTP and STP in paving. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 36, n. 1, p. 166–178.

LUCENA, L. C.; SILVA, J. R.; MARINHO FILHO, P. G. T.; PORTELA, M. G. (2017) Monitoramento de parâmetros físicos e ambientais de camadas de solo estabilizadas com lodo de ETA e de ETE. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, Maringá, v. 10, n. 3, p. 873–890.

MAZZUTI, E.; KLAMT, R.; FARO, V. Study of the hydro-mechanical behavior of a stabilized soil with water treatment plant sludge for application in sanitary landfills. Soils and Rocks, v. 46, n. 1, 2023.

MITCHELL, J. K.; SOGA, K. (2005) Fundamentals of Soil Behavior. 3. ed. Hoboken: John Wiley & Sons.

MONTALVAN, E. L. T. (2021) Geotechnical properties of mixtures of water treatment sludge and residual lateritic soils from the State of São Paulo. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. (1981) Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. In: Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, Rio de Janeiro, RJ. Anais… Associação Brasileira de Mecânica dos Solos (ABMS).

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. (1994) Identificação expedita dos grupos de classificação MCT para solos tropicais. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 10., Foz do Iguaçu. Anais… ABMS, p. 1293–1300.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. (1995) Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. São Paulo: Villibor.