



CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



ESTUDO DE ALTERNATIVAS PARA A CONSTRUÇÃO DE ATERROS SOBRE SOLOS MOLES

Diovana Patias Della Flora

Acadêmica do curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa
diodelaflora@gmail.com

Raquel Caroline Zydeck

Acadêmica do curso de Graduação em Engenharia Civil, bolsista PDA, grupo MAEC -
Universidade Federal do Pampa,
raquel.zydeck@gmail.com

Diego Arthur Hartmann

Professor Mestre do curso de Graduação em Engenharia Civil, grupo MAEC - Universidade
Federal do Pampa
diego.hartmann@unipampa.edu.br

Resumo. *Este estudo busca comparar a eficiência de diferentes metodologias construtivas de aterros sobre solos moles. Foram analisados os casos de construção em uma etapa e múltiplas etapas com e sem drenos verticais, buscando-se atingir uma cota final de 3 metros em 24 meses sem comprometer a estabilidade do aterro sem recalques remanescentes. A utilização de drenos foi a alternativa mais eficiente.*

Palavras-chave: *Aterros; Solos moles; Aceleração de recalques.*

1. INTRODUÇÃO

O estudo e a compreensão do comportamento dos solos é uma necessidade que tem suas origens desde os primeiros registros do início da humanidade. Com o crescimento populacional em grandes cidades e a necessidade de expansão territorial, o espaço construtivo vem se tornando cada vez mais restrito, tornando necessárias construções sobre solos com

características geológico-geotécnicas não ideais e assim impulsionando a busca por alternativas para uma segura utilização de solos de baixa capacidade de suporte.

De acordo com Almeida e Marques [1], a utilização deste tipo de solo implica na necessidade de aperfeiçoar características como a resistência ao cisalhamento, assim como reduzir sua deformabilidade advinda de carregamentos externos.

Buscando amenizar problemas de recalque e estabilidade de solos moles, diversas técnicas construtivas foram desenvolvidas, sendo que a técnica ideal para cada situação deve considerar aspectos relevantes como: características geotécnicas do solo mole, propósito de utilização da área, prazos e custos construtivos envolvidos. Em solos muito moles é indicado a utilização de geossintéticos ou bermas de equilíbrio, porém quando há restrição de espaço a execução de bermas pode se tornar inviável (Ref. [1]).

Ref. [1] apresenta como principais soluções para aterros sobre solos moles, os



seguintes métodos construtivos: substituição do solo mole (geralmente utilizada quando a espessura da camada for pequena), aterro convencional sem ou com sobrecarga temporária e aterros com drenos verticais (visando aceleração do processo de adensamento).

2. METODOLOGIA

2.1 Definição do problema

No presente estudo buscou-se verificar a eficiência de três soluções de aterros sobre solos moles: aterro em uma única etapa, aterro em múltiplas etapas e aterro em múltiplas etapas com a utilização de drenos. Para tal, este trabalho utilizou como referência o projeto de aterros sobre solos moles realizado pelos autores na disciplina de Obras de Terra do curso de Engenharia Civil da Unipampa.

Uma camada hipotética de argila mole de 10 metros, com nível d'água coincidente, foi considerada para este trabalho. Com a construção do aterro busca-se atingir uma cota de 3,3 m acima da camada de argila mole em um intervalo de no máximo 24 meses. Os parâmetros de resistência e compressibilidade do solo mole e do material de aterro foram estipulados baseados em parâmetros observados em obras do tipo na cidade do Rio de Janeiro. Para a definição dos parâmetros a Ref. [1] foi utilizada.

Uma argila mole com peso específico de 13,5 kN/m³ foi utilizada. A resistência não drenada da camada de argila mole foi definida através da Eq. (1), onde z é a profundidade na camada.

$$Su = 2,5 \text{ kPa} + 1,4z \quad (1)$$

Neste estudo o coeficiente de adensamento vertical (c_v) foi definido em 4x10⁻⁸ m²/s. Pinto [2] afirma que a variação

do c_v não impede a aplicação da teoria do adensamento em problemas correntes de engenharia e também alega que o aspecto mais relevante é considerar um c_v que represente bem o solo e as condições de carregamento.

O coeficiente de adensamento horizontal foi estimado através da tabela elaborada por Ladd et al. [3], em que a natureza do material fora considerada como argila homogênea sem macroestrutura definida, ficando definido em 5x10⁻⁸ m²/s.

Para a análise de estabilidade, a inclinação do talude foi definida em 33%. O material de aterro foi definido como uma areia proveniente da praia de Ipanema-RJ, com um peso específico médio de 17,5 kN/m³ e um ângulo de atrito de 40°. Para garantir uma melhor estabilidade um geossintético bidirecional de 200 kN foi adotado.

2.2 Tipos de recalques

De acordo com Leroueil [4], para cada camada de argila é determinado um recalque primário e secundário. Os recalques construtivos são resultantes da soma dos recalques imediatos e dos por recompressão primária, os recalques de longo prazo são a soma dos recalques por adensamento primário virgem e dos por compressão secundária.

A magnitude do recalque por adensamento primário deve ser estimada separando-se a camada de fundação em subcamadas correspondentes aos dados disponíveis de ensaios de adensamento, Ref. [2]. A equação para o cálculo do recalque por adensamento primário considera os parâmetros obtidos a partir da curva de compressão (Ref. [3]): índice de recompressão e compressão, tensão de sobre adensamento, tensão efetiva vertical, índice de vazios *in situ* para a profundidade de



interesse, o acréscimo de tensão devido a adição de cargas sobre o aterro. Ainda, a equação também considera a espessura da camada de argila para a estimativa do recalque primário.

Para a estimativa do recalque por adensamento secundário, o método de Martins [5] foi utilizado, isto é, considerou-se a hipótese de que a resistência à compressão de uma argila depende da velocidade de deformação vertical e da temperatura, ou seja, da sua viscosidade (Taylor [6]; Martins e Lacerda [7]). Baseado nos estudos experimentais de Ref. [5] foi possível estimar o recalque secundário para cada camada de argila através da espessura e razão de compressão de cada camada de argila.

O efeito da submersão do aterro foi levado em consideração através da diminuição do peso específico do aterro devido ao efeito do empuxo.

2.3 Métodos construtivos de aterros sobre solos moles utilizados

Em um aterro numa única etapa, a altura de aterro é definida a partir da altura crítica, que pode ser determinada através da média entre as resistências não drenada, peso específico do aterro e fator de capacidade de carga, conforme Ref. [1]. Definida a altura do aterro, é possível determinar as tensões dissipadas e a dissipar, assim, estima-se o tempo necessário para cessarem os recalques.

Caso a altura de aterro crítica for inferior a cota de projeto, a construção em múltiplas etapas pode ser uma opção, onde cada etapa garante que o solo mole de fundação adquira resistência com o tempo antes da execução da etapa seguinte. Neste trabalho foi definido uma execução em três etapas distintas, separadas por intervalos de 8 meses cada.

Outro problema frequente em obras do tipo são os prazos construtivos. Uma

alternativa para aceleração dos recalques é a utilização de drenos verticais, pois são eficientes na aceleração dos recalques, encurtando distâncias de drenagem. Os drenos verticais podem ser dispostos em malha quadrangular ou triangular, sendo a última selecionada para ser utilizada neste trabalho. Para o cálculo de recalque com drenos utiliza-se o coeficiente de adensamento horizontal (c_h).

2.4 Estabilidade dos taludes de aterro

Para a previsão da estabilidade dos taludes de aterro o método de Bishop simplificado (1955) foi utilizado. Nele, uma superfície de ruptura teste é desenhada e o solo por ela delimitado é dividido em fatias. Os esforços gerados pelas fatias de solo sobre a superfície são computados e o fator de segurança fica definido como a relação entre os esforços estabilizantes (esforços resistentes) e os esforços instabilizantes (esforços atuando), podendo este ser determinado manualmente ou através de programas computacionais. Neste trabalho foram realizadas análises com o programa Slope/W da Geo Slope. Fatores de segurança inferiores a 1 levarão a uma instabilidade no aterro.

3. RESULTADOS

As curvas de adensamento encontradas no presente trabalho, para todas as metodologias, estão apresentadas na Fig. 1.

Com a utilização de drenos verticais, os recalques ocorreram de maneira substancialmente mais acelerada se comparado aos métodos convencionais, com cerca de 99% do processo de adensamento concluído aos 24 meses. Isto se deve ao fato do dreno reduzir a distância de drenagem,



pois possui permeabilidade superior à do solo.

determinada de 3,3 m aos 24 meses, sem recalques remanescentes.

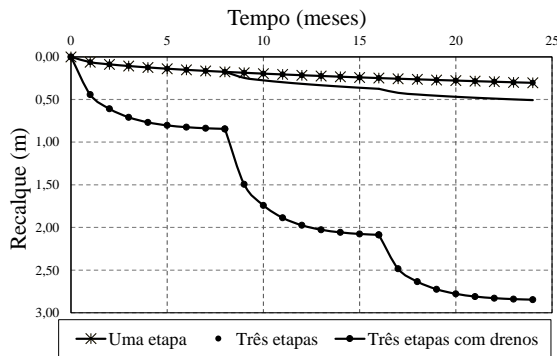


Figura 1. Curvas de adensamento

As análises de estabilidade do talude de aterro, realizadas através do Slope/W da Geo Slope, estão apresentadas na Fig. 2.

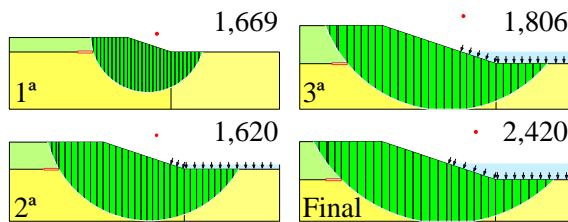


Figura 2. Análises de estabilidade do aterro nas várias etapas

Com a realização das análises de estabilidade do aterro em três etapas com drenos percebeu-se um aumento do fator de segurança, o aterro manteve-se estável durante a execução de todas as etapas (fator de segurança superior a 1) sendo que aos 24 meses o fator de segurança chegou a 2,42. Em todos os casos a ruptura passou pelo geotêxtil.

4. CONCLUSÕES

A solução só foi possível com a utilização de drenos verticais, que tornou possível agilizar o processo de adensamento e cumprir o objetivo de garantir a cota

5. REFERÊNCIAS

[3] C.C. Ladd, R. Foott, K. Ishihara, F. Schlosser and H. G. Poulos. Stress-Deformation and Strength Characteristics. Relation Contrainte. Tokyo, Japan: 1997, p. 97-421. Vol. 2.

[2] C.S. Pinto. Curso básico de mecânica dos solos. Oficina de textos. São Paulo: 2000, p. 219, 3ª edição.

[6] D.W. Taylor Fundamentals of Soil Mechanics, John Wiley and Sons. London: 1948, p. 243-247.

[5] I.S.M. Martins. Algumas considerações sobre adensamento secundário. Material de aula, Universidade Federal do Rio de Janeiro: 2010.

[7] I.S.M. Martins and W.A. Lacerda, "A Theory of Consolidation with Secondary Compression", Proceeding 1985, XI - International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, p. 567-570, vol.1.

[1] M.S.S. Almeida e M.E.S. Marques Aterros sobre solos moles: projeto e desempenho. Oficina de textos. São Paulo: 2010, p. 31-38, 81, 141.

[4] S. Leroueil. Compressibility of clays: fundamental and practical aspects. In: Asce Specialty Conference, Settlement, College Station: 1994, p.57-76. vol. 1.