

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS PARA ESTIMATIVA DE
PARÂMETROS DE RECALQUES EM ATERRO SOBRE SOLO MOLE:
RODOVIA LESTE-OESTE**

Gabriele Carvalho Bahiense ¹

Dr. Romulo Castello Henriques Ribeiro ²

Resumo – Este artigo apresenta a análise e interpretação dos resultados do monitoramento da evolução dos recalques, realizada através da instalação de placas de recalque em um aterro sobre solos moles. Trata-se de um estudo de caso do aterro do corredor Leste-Oeste, que liga os municípios de Cariacica e Vila Velha, no estado do Espírito Santo. O estudo foi realizado com base no monitoramento das placas de recalque fornecido pela GeoConsult, a qual disponibilizou sondagens, plantas do projeto e monitoramento, o que propiciou uma análise desde o projeto concebido inicialmente, os estágios de carga e a avaliação dos problemas de caráter executivo. A análise baseou-se na ponderação do método proposto em 1978 por Asaoka, onde é realizada a retroanálise do monitoramento realizado em campo, de forma a obter parâmetros, tais como coeficientes de adensamento e recalques a tempo infinito. A partir dos parâmetros obtidos pela instrumentação de um aterro experimental foi possível avaliar a veracidade das estimativas feitas e o real obtido em toda a rodovia.

Abstract – This article presents the analysis and interpretation of the results of the monitoring of the evolution of the settlements, realized through the installation of plates of repression in a landfill on soft soils. This is a case study of the East-West corridor landfill, connecting the municipalities of Cariacica and Vila Velha, in the state of Espírito Santo. The study was carried out based on the monitoring of the rebound plates provided by GeoConsult, which provided surveys, project plans and monitoring, which provided an analysis from the initially designed project, the stages of loading and the evaluation of the problems of an executive nature. The analysis was based on the weighting of the method proposed in 1978 by Asaoka, where a field analysis is carried out in order to obtain parameters, such as densification coefficients and infinite time re-evaluations. From the parameters obtained by the instrumentation of an experimental landfill it was possible to evaluate the accuracy of the estimates made and the real obtained on the whole highway.

Palavras-Chave – solos moles; aterro; recalque.

¹ Eng. Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, (27) 99884-3103, gabriele.bahiense@gmail.com

² Eng. Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, (27) 98119-0850, romulocastello@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

O recalque, ou assentamento do terreno é o termo utilizado na engenharia civil para designar o fenômeno de estabilização que ocorre quando um empreendimento sofre um rebaixamento devido ao adensamento do solo por baixo da sua fundação.

Na construção de aterros sobre solos moles, os principais problemas observados dizem respeito à possibilidade de recalques não controlados, por esse motivo alguns artifícios são implementados de forma a realizar o monitoramento dos recalques e verificar as premissas de projeto, e este artigo deseja avaliar a exatidão dos métodos semi-empíricos para previsão de recalques e o seu tempo de processamento.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

2.1. Localização

O estudo de caso foi realizado em um trecho do corredor Leste-Oeste que liga os municípios de Cariacica e Vila Velha entre a BR-262, Cariacica, e a Rodovia Daryl Santos, Vila Velha. Dos aproximadamente 8km de rodovia, o trecho analisado possui cerca de 4km de extensão e compreende a região entre os bairros Nelson Ramos 1 e Rio Marinho. Nessa região foi verificada a presença de solos moles e aterros de espessuras variadas.

Figura 1. Localização da Rodovia Leste-Oeste.



2.2. Caracterização geotécnica

Nesse trecho foram executados 171 (cento e setenta e um) furos de sondagem, sendo 165 (cento e sessenta e cinco) sondagens a percussão simples e 6 (seis) mistas (percussão e rotativa). Dos relatórios de sondagem foram escolhidas 3 (três) sondagens consideradas representativas do trecho da rodovia em estudo, SA-22, SA-23 e SA-24.

Essa região é caracterizada por apresentar perfis compostos por um aterro argiloso antigo superficial, seguido por uma espessa camada de solo mole até atingir a camada de areia e alteração de rocha. Essa camada superficial apresenta altura que varia de 0,0 (nas regiões próximas ao córrego) a 2,0m, seguido por uma extensa camada de solo mole com aproximadamente 6,0m de espessura, em alguns pontos extremos atingindo cerca de 8,0m de espessura.

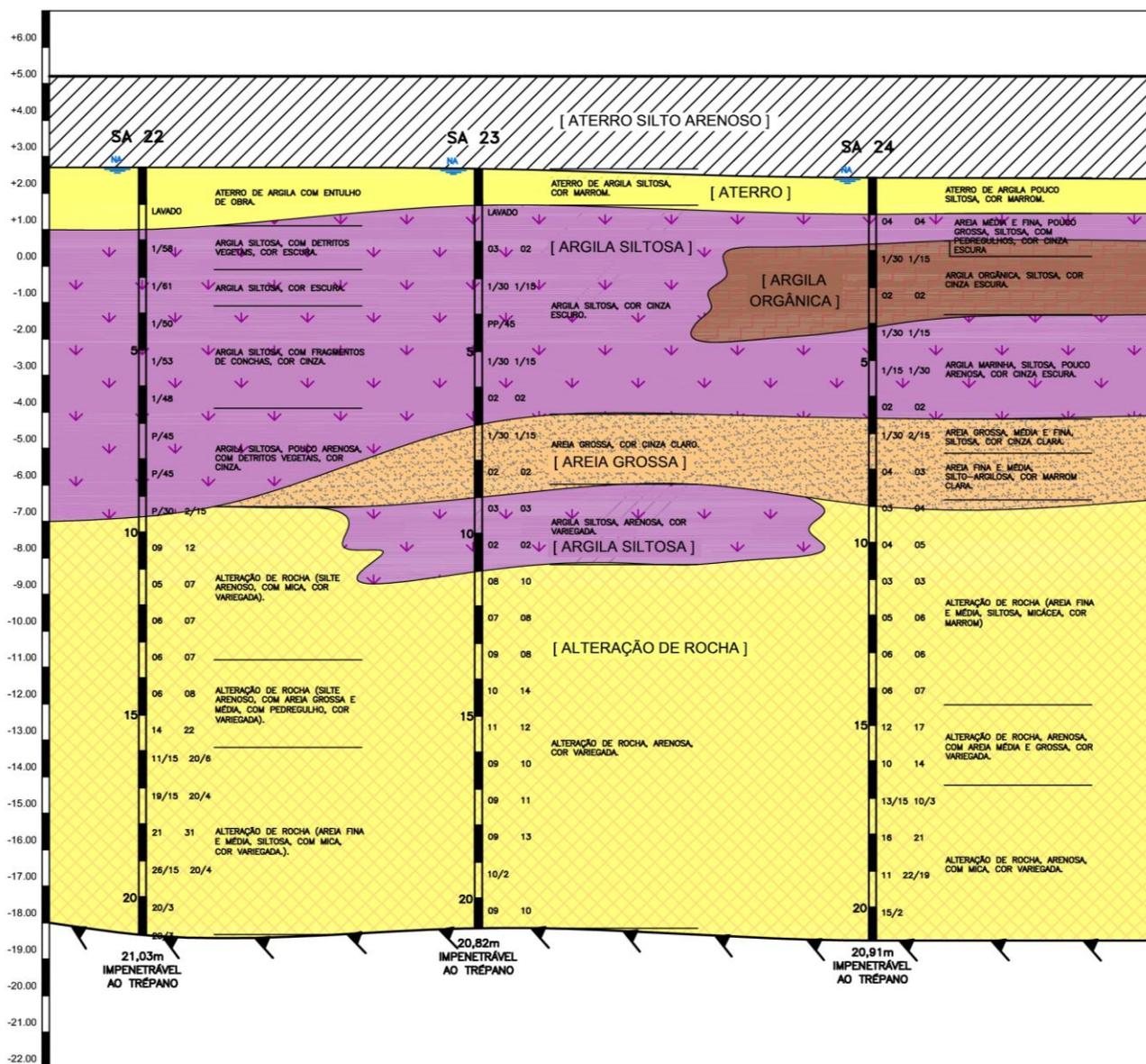


Figura 2. Perfil Geotécnico da Região da Rodovia Leste-Oeste.

Para simplificação dos cálculos, os 6m de solo mole foram considerados como uma camada única, sendo adotado para a mesma, um valor único de resistência não-drenada (S_u).

Para a camada de solo mole encontrada, foram adotadas duas "Ilhas de Investigação", onde foram realizados ensaios de adensamento, compressão simples, cisalhamento direto e palheta, além da investigação de campo aos arredores, contando com sondagens à percussão e CPTu.

Na Tabela 1 apresentamos resultados dos parâmetros a seguir:

γ_n : Peso específico natural;

LL: Limite de liquidez;

LP: Limite de plasticidade;

IP: Índice de plasticidade;

σ_{v0} : Tensão efetiva vertical inicial;

OCR: Razão de sobre adensamento;

S_u : Resistência ao cisalhamento, e

S_T : Sensibilidade da argila.

Tabela 1. Resumo dos ensaios de campo nas Ilhas SA-20 e SA-23

Local	Ident.	Prof. [m] (avanço do ensaio)	Prof. [m] (amostra)	γ_n [kN/m ³]	LL [%]	LP [%]	IP	σ_{v_0}' [kPa]	OCR	S_u [kPa]	S_t
SA-20	CPTu	0 - 10,34	3,15	-	94%	36%	58%	38,75	2,00	-	-
	CPTu	0 - 10,34	5,15	-	112%	48%	64%	48,73	1,00	-	-
	Vane	2,44 - 8,00	2,00	15,0	94%	36%	58%	33,00	-	14,14	1,33
	Vane	2,44 - 8,00	3,00	15,0	94%	36%	58%	38,00	-	6,73	7,20
	Vane	2,44 - 8,00	4,00	15,0	105%	43%	62%	43,00	-	14,24	4,00
	Vane	2,44 - 8,00	5,00	15,0	112%	48%	64%	48,00	-	13,28	3,40
	Vane	2,44 - 8,00	6,00	15,0	112%	48%	64%	53,00	-	17,17	3,60
	Vane	2,44 - 8,00	7,00	15,0	112%	48%	64%	58,00	-	31,05	5,30
SA-23	CPTu	0 - 11,46	3,65	-	109%	42%	67%	28,22	1,80	-	-
	CPTu	0 - 11,46	4,15	-	137%	59%	78%	30,70	1,00	-	-
	CPTu	0 - 11,46	8,15	-	-	-	-	50,75	1,00	-	-
	Vane	1,63 - 8,87	2,00	15,0	109%	42%	67%	20,00	-	27,02	7,50
	Vane	1,63 - 8,87	3,00	15,0	109%	42%	67%	25,00	-	11,13	6,00
	Vane	1,63 - 8,87	4,00	15,0	137%	59%	78%	30,00	-	18,00	4,80
	Vane	1,63 - 8,87	5,00	15,0	137%	59%	78%	35,00	-	17,05	4,20
	Vane	1,63 - 8,87	6,00	15,0	137%	59%	78%	40,00	-	23,79	12,50
	Vane	1,63 - 8,87	7,00	15,0	-	-	-	45,00	-	15,73	3,40
	Vane	1,63 - 8,87	8,00	15,0	-	-	-	50,00	-	18,47	3,80

Fonte: Dados dos ensaios de campo fornecidos pela GeoConsult.

Tabela 2. Resumo dos ensaios de laboratório nas Ilhas SA-20 e SA-23

Local	Prof. [m]	γ_n [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	W_n [%]	LL [%]	LP [%]	e_o	C_{clab}	CR_{lab}	σ_{v_0}' [kPa]	σ_p' [kPa]	OCR	S_u [kPa]
SA-20	3,20 - 3,60	13.99	-	111.4%	107%	46%	2.872	1.50	0.16	24.99	42.00	2.10	-
		13.65	25.63	110.8%			2.961	-	-		-	12.24	
SA-23	3,20 - 3,60	14.07	25.22	125.7%	136%	57%	3.187	1.49	0.17	22.11	20.00	1.09	-
		12.62	25.68	136.9%			3.818	-	-		-	12.01	

Fonte: Dados dos ensaios de campo fornecidos pela GeoConsult.

Para estimativa do C_c (coeficiente de compressão), foram analisadas correlações de cinco autores, para um valor médio de umidade de 97% e um índice de vazios médio da ordem de 3,01, chegando aos valores apresentados na Tabela 3, abaixo.

Tabela 3. Estimativa dos valores de coeficiente de compressão

Método	Cc
Terzaghi & Peck (1948)	0,790
Lambe & Whitman (1969)	1,030
Futai e outros (2009)	1,260
Castello & Polido (1986)	1,190
Silva (2003)	1,918

As tabelas apresentadas abaixo listam resumidamente os parâmetros geométricos, do aterro e dos solos utilizados na análise e estimativa de recalques:

Tabela 4: Dados: Geometria e sobrecarga

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade
Altura necessária para se atingir o greide	H	4,5	m
Espessura da camada de aterro existente	h_{at1}	2,0	m

Fonte: Projeto geotécnico elaborado pela STONENGE e fornecido pela GeoConsult

Tabela 5: Parâmetros geotécnicos: Argila mole

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade
Umidade natural	ω	97,25	%
Índice de vazios inicial	e_0	3,01	-
Número de faces drenantes	n	2	-

Fonte: Ensaios fornecidos pela GeoConsult

Foram consideradas duas faces drenantes devido à indicação de uma camada de areia nas sondagens SA-23 e SA-24, na base da camada analisada e uma camada superficial de argila com entulho, na sondagem SA-22.

Tabela 6: Parâmetros geotécnicos: Aterro existente e aterro novo lançado

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade
Peso específico do aterro compactado	γ_{at2}	19	kN/m ³
Peso específico do aterro existente	γ_{at1}	17	kN/m ³

Fonte: Ensaios fornecidos pela GeoConsult

Como solução para esse trecho característico da rodovia, foi adotado o lançamento de um aterro até atingir o greide de projeto e o uso de drenos verticais com 10 metros de comprimento e malha quadrada com espaçamento de 1,5 metros entre drenos.

3. CÁLCULOS

3.1. Previsão de recalques primários

Para a análise do problema, foi calculado o recalque primário total para a situação hipotética em que todo o aterro é construído em uma única etapa, a fim de estimar a altura necessária de aterro para atingir o greide de projeto.

Por se tratar de uma área muito grande, o aterro foi considerado de dimensões infinitas para efeito de cálculo, admitindo-se ainda, por simplificação, que a argila esteja na condição normalmente adensada ($OCR \sim 1$).

Os recalques primários foram estimados com base na teoria da compressibilidade unidirecional, considerando-se o efeito de submersão do aterro, conforme mostra Almeida & Marques, 2014, através de um cálculo iterativo, considerando a submersão:

$$\Delta_h = \frac{h_{arg}}{1 + e_0} \times C_c \times \log \left(\frac{\sigma'_{v0} + h_{at} \times \gamma_{at} + \Delta_h \times \gamma'_{at}}{\sigma'_p} \right)$$

Onde,

h_{arg} : corresponde a espessura da camada de argila mole;

e_0 : é o índice de vazios inicial da argila mole;

C_c : é o índice de compressão, obtido do ensaio de adensamento ou de maneira empírica para argilas indeformadas;

σ'_{v0} : é a medida da tensão efetiva inicial, de campo, da camada mole;

σ'_p : diz respeito à tensão efetiva de pré-adensamento, considerada a tensão efetiva de campo;

Δ_h : corresponde ao recalque total primário;

h_{at} : corresponde à altura de aterro;

γ_{at} : é o peso específico do solo que compõe o aterro;

γ'_{at} : é o peso específico submerso do solo que compõe o aterro.

Como a parcela referente ao recalque total primário aparece dos dois lados da equação, foi utilizada uma planilha do Microsoft Office Excel para o cálculo iterativo do recalque, conforme tabela abaixo:

Tabela 7: Estimativa de recalque primário

Autor	H _{aterro} (m)	Recalque (m)
Terzaghi & Peck (1948)	3,66	0,84
Lambe & Whitman (1969)	3,51	0,99
Futai e outros (2009)	3,29	1,21
Castello & Polido (1986)	3,36	1,14
Silva (2003)	2,66	1,84

3.2. Estimativa do coeficiente de adensamento vertical

O coeficiente de adensamento vertical (C_v) pode ser obtido a partir dos dados do ensaio de adensamento realizado em laboratório, através dos métodos usuais de Taylor ou Casagrande.

Os resultados obtidos tomando como base o ensaio de adensamento edométrico realizado em amostras da ilha de investigação SA-20 foram descartados, devido a possibilidade de amolgamento da amostra, notado após análise dos gráficos de interpretação do ensaio, fornecidos pela Geoconsult. Sendo assim, foi possível obter apenas dois valores para o

coeficiente de adensamento vertical, através dos dois métodos propostos, $C_{v(Taylor)}$ da ordem de $1.28E-03 \text{ cm}^2/\text{s}$ e $C_{v(Casagrande)}$ da ordem de $8.73E-04 \text{ cm}^2/\text{s}$

3.3. Estimativa dos coeficientes de adensamento horizontal

Para a determinação dos coeficientes de adensamento horizontal, através dos ensaios de CPT com medida da dissipação das poropressões, fez-se uso do método proposto por Houlsby e Teh (1988). Esse método admite a consideração do índice de rigidez do solo I_r . Tomando como base na literatura disponível para depósitos naturais de argila em solos brasileiros, o índice de rigidez varia de $I_r = 50$ e $I_r = 500$.

A estimativa do coeficiente de adensamento foi feita através da expressão indicada na proposta de Houlsby e Teh (1988) e considerou uma porcentagem de dissipação ($u = 50\%$) para todos os casos, exceto para o ensaio na ilha SA20 na profundidade de 3,15 metros, sendo admitido uma dissipação ($u = 22\%$) por razão do ensaio não ter atingido 50% de dissipação.

Os valores de Ch obtidos por este procedimento correspondem a propriedades do solo na faixa sobreadensada. Para a obtenção dos mesmos na faixa de comportamento normalmente adensado, fez-se uso da formulação sugerida por Ladd (1977) e Jamiolkowski et al (1985), disponíveis na Tabela 5, que indicam que para argilas homogêneas sem macroestrutura definida seja utilizada a relação k_h/k_v entre 1,0 e 1,5, dessa forma, $Ch_{CPTu [N.A.]} = 0,15Ch_{CPTu}$.

Tabela 8: Resumo dos ensaios de dissipação

CPTu	Profundidade (m)	I_r	Ch (cm ² /s)	Ch [N.A.] (cm ² /s)
SA-20	3,15	50	1.78E-4	2.67E-05
		500	5.63E-4	8.45E-05
	5,15	50	7.71E-4	1.16E-04
		500	2.44E-3	3.66E-04
SA-23	3,65	50	1.64E-2	2.46E-03
		500	5.18E-2	7.77E-03
	4,15	50	3.78E-3	5.67E-04
		500	1.19E-2	1.79E-03
	8,15	50	1.46E-3	2.19E-04
		500	4.61E-3	6.92E-04

Fonte: Relatório AMD-01-GRE-01_REV.2 Fugro, 2012

Para esta análise, foram considerados apenas os valores obtidos para estimativas realizadas com base nos ensaios realizados na ilha de investigação SA23, para garantir conformidade da amostra ensaiada em laboratório e do ensaio de CPTu.

3.4. Estimativa da relação Ch/C_v

A partir dos resultados das estimativas para os coeficientes de adensamento realizadas nos tópicos que antecedem a este, foi possível analisar e comparar os resultados obtidos para a relação Ch/C_v da obra em estudo com os valores apresentados pela literatura adotada, de Ladd (1977) e Jamiolkowski et al. (1985).

Tabela 9: Resumo comparativo das relações Ch/Cv

CPTu	Profundidade (m)	Ir (Ch)	Ch/Cv Taylor	Ch/Cv Taylor N.A.	Ch/Cv Casagrande	Ch/Cv Casagrande N.A.
SA-23	3,65	50	12.81	1.92	18.79	2.82
		500	40.47	6.07	59.34	8.90
	4,15	50	2.95	0.44	4.33	0.65
		500	9.30	1.40	13.63	2.05
	8,15	50	1.14	0.17	1.67	0.25
		500	3.60	0.54	5.28	0.79
Média		50	5.63	0.84	8.26	1.24
		500	17.79	2.67	26.08	3.91

3.5. Análise dos dados do monitoramento das placas de recalque

O grande objetivo do monitoramento de um aterro sobre solos moles é verificar as premissas de projeto. As placas de recalque são os instrumentos mais simples para monitoramento de recalques, medindo os deslocamentos verticais.

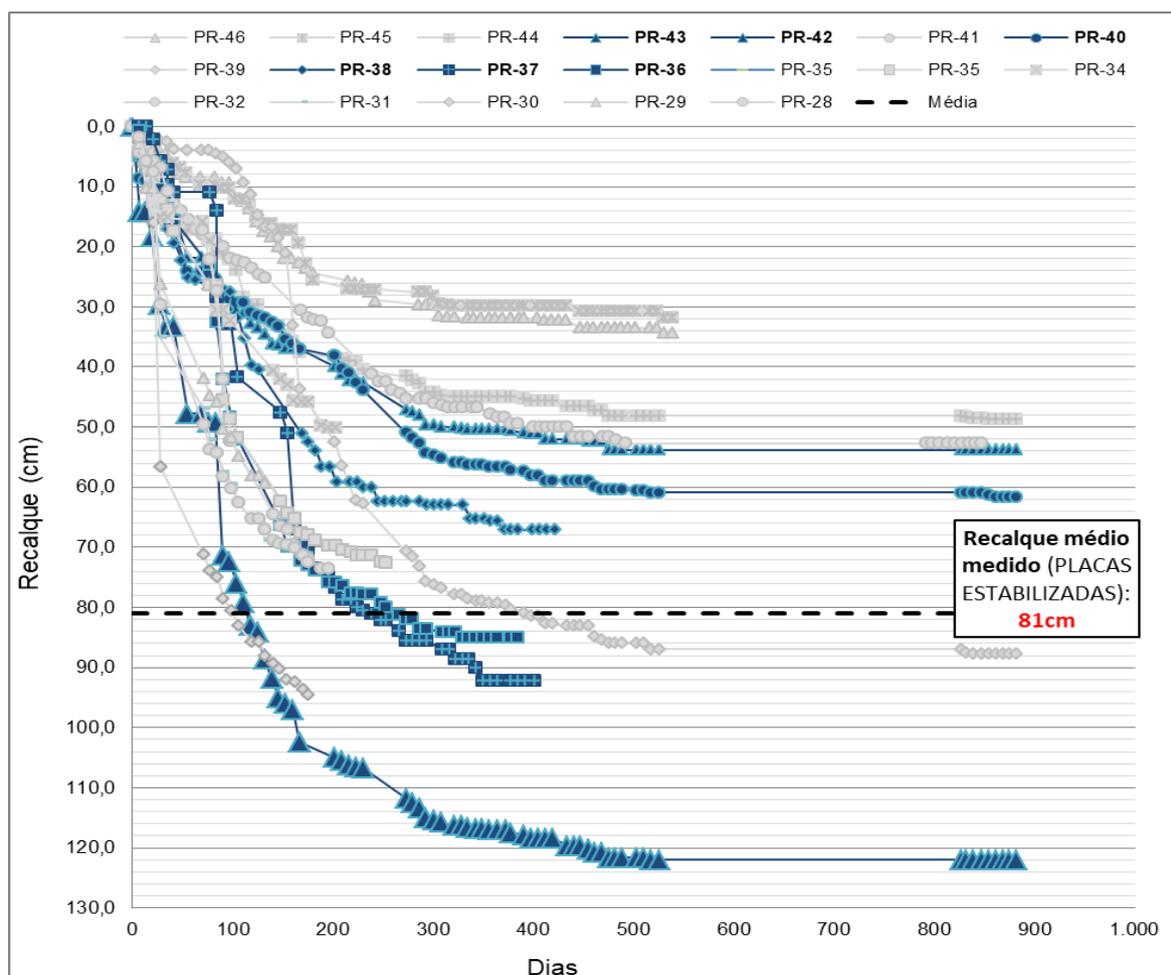
Das 20 (vinte) placas de recalque instaladas e monitoradas na rodovia em estudo, somente 15 (quinze) apresentavam dados suficientes para análise, e em 2017 apenas 8 (oito) foram identificadas em campo.

Os recalques medidos pelo monitoramento das placas apresentavam clara tendência de estabilização já nos últimos meses do ano de 2014, também não apresentando deslocamentos mensuráveis nas últimas leituras realizadas entre outubro e novembro de 2015, o que possibilita uma análise mais próxima do real em campo.

Para as placas com monitoramento interrompido, é esperado que o período no qual não foram disponibilizados dados do monitoramento tenha sido superior ao necessário para a estabilização dos recalques. Dessa forma, as placas que não foram monitoradas até a estabilização dos recalques foram descartadas.

O gráfico a seguir mostra o período de monitoramento e os recalques medidos pelo monitoramento das placas.

Gráfico 1: Resumo do monitoramento das placas de recalque



3.6. Evolução dos recalques com o tempo

A solução aplicada no trecho em estudo compreendeu a instalação de drenos verticais com 10m de profundidade, dispostos em malha quadrada, com espaçamento de 1,5m entre drenos.

A estimativa do desenvolvimento dos recalques com o tempo foi realizada com base na teoria do adensamento para drenagem combinada, tratada teoricamente por Carrillo (1942), utilizando uma planilha do Microsoft Office Excel.

Tabela 10: Tempo para processamento dos recalques

Tempo para processamento dos recalques conforme medição em campo (dias):		700	
Modelo considerado	Tempo para estabilização (dias)	Variação (Estimado/Real)	
Análise com Ch (Housby e Teh - N.A. - Ir 50) / Cv (Taylor)	3358	4.80	
Análise com Ch (Housby e Teh - N.A. - Ir 500) / Cv (Taylor)	1402	2.00	
Análise com Ch (Housby e Teh - N.A. - Ir 50) / Cv (Casagrande)	3577	5.11	
Análise com Ch (Housby e Teh - N.A. - Ir 500) / Cv (Casagrande)	1548	2.21	

Como observado na Tabela 10, o tempo estimado para a estabilização dos recalques varia de maneira significativa em relação ao tempo que as placas de recalque estabilizaram em campo, variando de 2 a 5 vezes o valor medido.

4. CONCLUSÕES

Este capítulo tem como objetivo apresentar as conclusões do estudo sobre a previsão de recalques e o real comportamento do aterro da rodovia Leste-Oeste e discursar sobre os valores de coeficientes de adensamento obtidos através de resultados dos ensaios de piezocone e adensamento edométrico.

4.1. Conclusões sobre os recalques primários

a) As estimativas de recalque realizadas utilizando valores de coeficiente de compressão obtidos de correlações semi-empíricas, apresentam resultados que destoam em até 127% do real de campo medido pelas placas de recalque, para o caso da correlação proposta por Silva (2003)

b) Das 6 (seis) correlações para coeficiente de compressão estudadas neste trabalho, a correlação que gerou resultados de recalque mais próximos do real em campo, foi a correlação proposta por Terzaghi & Peck (1948), obtendo valores com menos de 4% de variação da média de recalques obtida pelo monitoramento das placas instaladas no aterro.

4.2. Conclusões sobre os coeficientes de adensamento vertical

a) Os valores do coeficiente de adensamento obtidos através dos métodos de Taylor e Casagrande para análise do ensaio de adensamento oedométrico, de $1.28E-03$ cm²/s por Taylor e $8.73E-04$ cm²/s por Casagrande provam que o método de Casagrande é conservativo, obtendo coeficiente de adensamento vertical 1,5 vezes menor do que o estimado por Taylor.

b) Os valores obtidos em laboratório são possivelmente influenciados pela amostragem deficiente, com apenas um ensaio adequado para análise, além disso, as amostras utilizadas para realização dos ensaios raramente conseguem reproduzir as reais condições em campo, devido a presença de lentes de areia, trechos alagados, condições variadas de confinamento do material, entre outros fatores que modificam a capacidade de drenagem da camada de argila mole.

4.3. Conclusões sobre a relação Ch/Cv

a) As relações Ch/Cv obtidas através da combinação dos coeficientes de adensamento horizontal na condição pré-adensada ou normalmente adensada para I_r variando de 50 a 500 com os coeficientes de adensamento horizontal estimados pelos métodos de Taylor e Casagrande apresentam grande variação. Essa discrepância nas relações Ch/Cv são esperadas devido às condições deficientes de amostragem, além das incertezas na adoção de parâmetros e correlações empíricas.

b) Com base na literatura proposta por Ladd (1977) e Jamiolkowski et al (1985), os valores encontrados nesse trabalho para as combinações que fazem uso dos coeficientes de adensamento horizontal na condição normalmente adensada, estão de acordo com os valores esperados pela literatura, com leve variação, que já era esperada quando se fez a análise para I_r variando de 50 a 500, sendo assim, é possível concluir que a combinação que apresenta valores mais próximos ao esperado é a com o Ch obtido para a condição normalmente adensada, adotando $I_r=50$. No que diz respeito ao Cv utilizado para obtenção da relação Ch/Cv, os dois valores obtidos (Taylor e Casagrande) apresentam valores que se encaixam no apresentado pela literatura disponível.

4.4. Conclusões sobre a evolução dos recalques com o tempo

a) As estimativas realizadas com base nos parâmetros comentados nos tópicos anteriores apresentaram resultados cerca de 2 a 5 vezes maiores para o tempo de processamento dos recalques.

b) Dentre os modelos adotados, a análise usando o Ch obtido pelo método de Housby e Teh com $l_r=500$ e condição normalmente adensada foi a que mais se aproximou do real de campo, mesmo estimando que o recalque aconteceria com o dobro do tempo que de fato ocorreu.

c) Essas variações podem ser explicadas pela presença de lentes de areia, que tornam o solo mais permeável, condições de confinamento do solo desconhecidas e contribuição dos erros acumulados pelas incertezas das correlações utilizadas em cada passo adotado até se chegar a esses resultados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12553 MB 3406: Solo - Ensaio de Penetração de Cone in situ (CPT). Rio de Janeiro, 1991.

ALMEIDA, Márcio de Souza S.; MARQUES, Maria Esther Soares. Aterros sobre solos moles – Projeto e Desempenho. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CARRILLO, N. Simple two- and tree-dimensional cases in the theory of consolidation of soils. J. Math. Phys. 21, 1-5, 1942.

FALCONI, F. F. et al. Fundações Teoria e Prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.

HOUSBY, G. T.; THE, C. I. Analyses of the piezoncone in clay. In: ISOPT, 1., 1988, Orlando. Proceedings...Orlando, 1988. v. 2. p. 777-783.

JAMIOLKOWSKI M., LADD C.C., GERMAINE J.T. and LANCELLOTTA R. New developments in field and laboratory testing of soils. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 11., 1985, San Francisco. Proceedings...San Francisco, 1985. v. 1. p. 57-153.

MARANGON, M. Notas de aula de geotécnica de fundação, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2009.

SCHNAID, Fernando; ODEBRECHT, Edgar. Ensaios de campo e suas aplicações à engenharia de fundações, 2ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

SILVA, Diego Moreira. Estimativa do índice de compressão de argilas moles da costa brasileira a partir de ensaios de caracterização, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013

TERZAGHI, Karl; PECK, Ralph B. Soil Mechanics in Engineering Practice, 3. ed., New York: John Wiley & Sons, Inc, 1996.