

Uso do Método de Asaoka para Avaliação do Desempenho de Aterro Sobre Solos Moles

Marciano Lang Fraga

Sócio-Diretor, MLF Engenharia e Projetos, Porto Alegre, RS, Brasil, marcianofraga@gmail.com

Gonçalo de Lima Sonaglio

Engenheiro Civil, MSc, Consultor, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, goncalo.sonaglio@gmail.com

Matheus Campos Pompermayer

Sócio, MLF Engenharia e Projetos, Porto Alegre, RS, Brasil, pompermayer.matheus@gmail.com

RESUMO: Este trabalho avalia o desempenho de um aterro sobre solos moles executado no âmbito de melhorias na BR-116/RS, utilizando leituras de placas de recalque para interpretação do comportamento deformacional do subsolo. As séries de monitoramento foram organizadas conforme a setorização do projeto em três ramos (RLD-80, RLE-70 e RLE-71). Para estimar o recalque final e verificar a tendência de estabilização, aplicou-se o método de Asaoka (1978) às leituras disponíveis até abril de 2023. Os resultados indicaram recalques residuais baixos entre os recalques medidos e os recalques finais estimados, em geral da ordem de poucos milímetros (tipicamente entre 1 e 13 mm), sugerindo tendência de estabilização no intervalo analisado. Em comparação aos recalques finais previstos em projeto (quando disponíveis), observaram-se diferenças atribuídas à variabilidade espacial do depósito mole, às incertezas de caracterização e à limitação do período monitorado. Conclui-se que o método de Asaoka é uma ferramenta eficaz para verificação e acompanhamento de recalques com base em dados de campo, recomendando-se a continuidade do monitoramento e a integração com informações geotécnicas complementares para reduzir incertezas.

PALAVRAS-CHAVE: Solos Moles, Recalque, Método de Asaoka, Monitoramento Geotécnico, Adensamento.

ABSTRACT: This study evaluates the performance of an embankment constructed over soft soils as part of roadway improvement works on BR-116/RS (Brazil), using settlement plate readings to interpret the deformational behaviour of the foundation soil. Monitoring data were organised according to the project-defined sections (RLD-80, RLE-70 and RLE-71). To estimate the final settlement and assess stabilisation trends, Asaoka's method (1978) was applied to the readings available up to April 2023. The results indicated low residual settlements between measured values and Asaoka-estimated final settlements, generally on the order of a few millimetres (typically between 1 to 13 mm), suggesting a stabilisation trend within the analysed period. When compared with design final settlements (when available), differences were observed, which can be attributed to the spatial variability of the soft deposit, uncertainties in geotechnical characterisation, and the limited monitoring window. Overall, Asaoka's method proved to be a practical tool for field-based settlement assessment and follow-up, although continued monitoring and integration with complementary geotechnical information are recommended to reduce uncertainty and strengthen interpretation.

KEYWORDS: Soft Soils, Settlement, Asaoka Method, Geotechnical Monitoring, Consolidation

1 INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta a avaliação do desempenho de um aterro implantado no contexto de obras de melhoramento físico e de segurança viária na BR-116/RS (Figura 1). O foco do trabalho é a interpretação das leituras de placas de recalque instaladas no trecho, com o objetivo de compreender o comportamento do solo de fundação frente aos carregamentos impostos pela execução do aterro.

As leituras analisadas abrangem um período de 154 dias, entre 11/11/2022 e 14/04/2023. Neste intervalo, são analisados o histórico de altura de aterro executada e os recalques medidos, bem como a estimativa do recalque final associado ao adensamento primário, adotada como referência para o período mais recente de monitoramento.

A previsão do recalque final é realizada pelo método de Asaoka (1978), aplicado com base na série temporal de recalques observados, buscando avaliar a tendência de estabilização do adensamento sob a sobrecarga do aterro.

A avaliação considera, ainda, a localização e representatividade das investigações geotécnicas disponíveis para o trecho, bem como a posição das placas de recalque utilizadas no monitoramento de campo (Figura 2). Ressalta-se que, quando a caracterização do solo se baseia predominantemente em sondagens SPT, há limitações para a definição de parâmetros de compressibilidade. Assim, quando disponíveis, ensaios oedométricos e/ou CPTu contribuem para reduzir incertezas e aprimorar a interpretação do comportamento deformacional do depósito mole.



Figura 1 – Local do trecho em estudo.



Figura 2 – Localização das sondagens, placas de recalque e áreas de sobrecarga temporária indicadas em projeto

2 PROJETO EXECUTADO

O projeto executado trata-se de execução de aterro de até 6,5m de altura sobre camada de solo mole. A campanha de investigação foi realizada para a elaboração do projeto executivo e constou de 02 sondagens SPT e 08 sondagens mistas, dividindo o projeto em diversos setores em função do perfil geotécnico adotado.

Em obras de aterro sobre solos moles, a realização de ensaios oedométricos é recomendável para subsidiar a definição dos parâmetros de compressibilidade e, conseqüentemente, reduzir incertezas na estimativa dos recalques previstos em projeto, conforme discutido em Almeida e Marques (2010).

A projetista responsável adotou parâmetros baseados em estudo realizado sobre a argila mole da várzea do Rio do Sinos para as obras da Av. Mauá e de estudos de aterros sobre solo mole das obras da ampliação do Aeroporto Internacional Salgado Filho.

Assim foi realizado, para cada sondagem de interesse, uma avaliação dos recalques esperados. Devido ao tempo para ocorrência dos mesmos, diversas soluções foram aventadas para a aceleração dos recalques, sendo adotada a solução de aplicação de sobrecarga adicional sobre o aterro.

As placas de recalque foram instaladas ao longo da área de projeto, em diversos ramos. Na Figura 3 é apresentada uma seção tipo do projeto, sendo verificado que o aterro de projeto foi executado sobre uma camada de argila siltosa vermelha de consistência mole a muito mole de espessura de cerca de 3,5 metros.

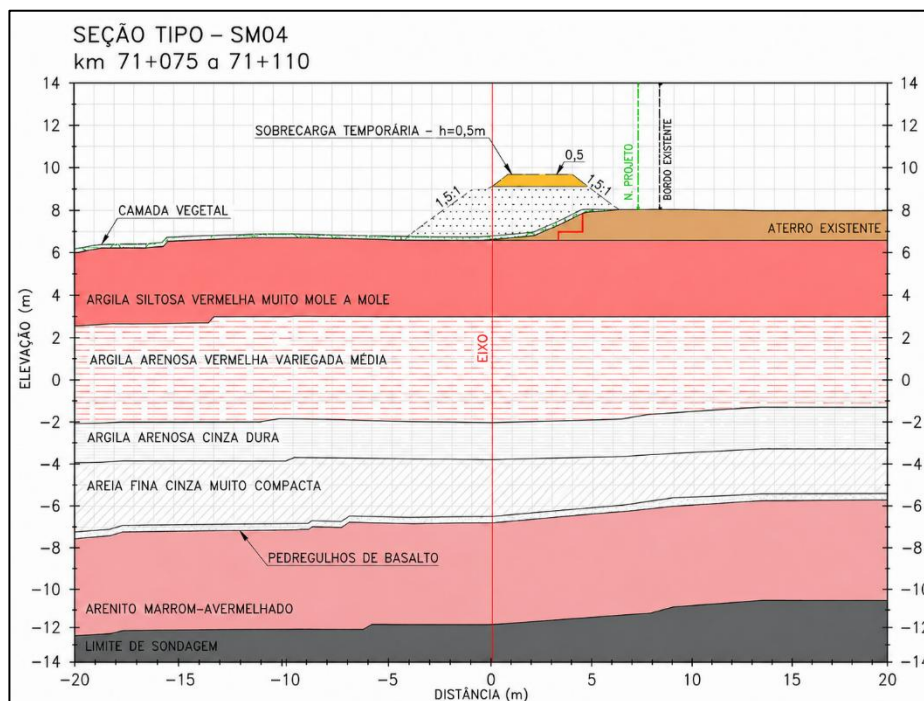


Figura 3 – Seção tipo de um dos trechos analisados

3 LOCAIS DE ESTUDO

Os locais de estudo correspondem aos trechos instrumentados do segmento da BR-116/RS contemplado pelas obras de melhoria e monitoramento de recalques. A localização do empreendimento no contexto regional é apresentada na Figura 1, enquanto a setorização em planta, com a identificação dos ramos, das placas de recalque e das investigações geotécnicas utilizadas como referência, é apresentada na Figura 2.

Para a análise, as leituras de recalque foram organizadas por trechos (ramos), conforme definido no projeto, a saber: • RLD – Ramo 80; • RLE – Ramo 70; • RLE – Ramo 71.

Em cada ramo foram consideradas: (i) as placas de recalque instaladas e monitoradas no trecho; e (ii) as sondagens (SM e SPT) adotadas como referência para interpretação, associadas por proximidade e representatividade, conforme indicado na Figura 2.

3.1 RLD – Ramo 80

No trecho RLD – Ramo 80, foram analisadas as placas de recalque PR2, PR4, PR6, PR8, PR10 e P12. Para suporte à interpretação do comportamento deformacional do terreno, foram consideradas as sondagens SM-01, SM-03, SPT-02, SM-07 e SM-12, sendo a posição das sondagens especificadas na Figura 2.

No período de monitoramento utilizado neste trabalho, as placas do ramo já registram leituras após a execução da cota final do aterro (e parcela relevante da sobrecarga associada), permitindo avaliar a evolução temporal dos recalques. A variação do recalque ao longo do tempo para este trecho é apresentada na Figura 4.

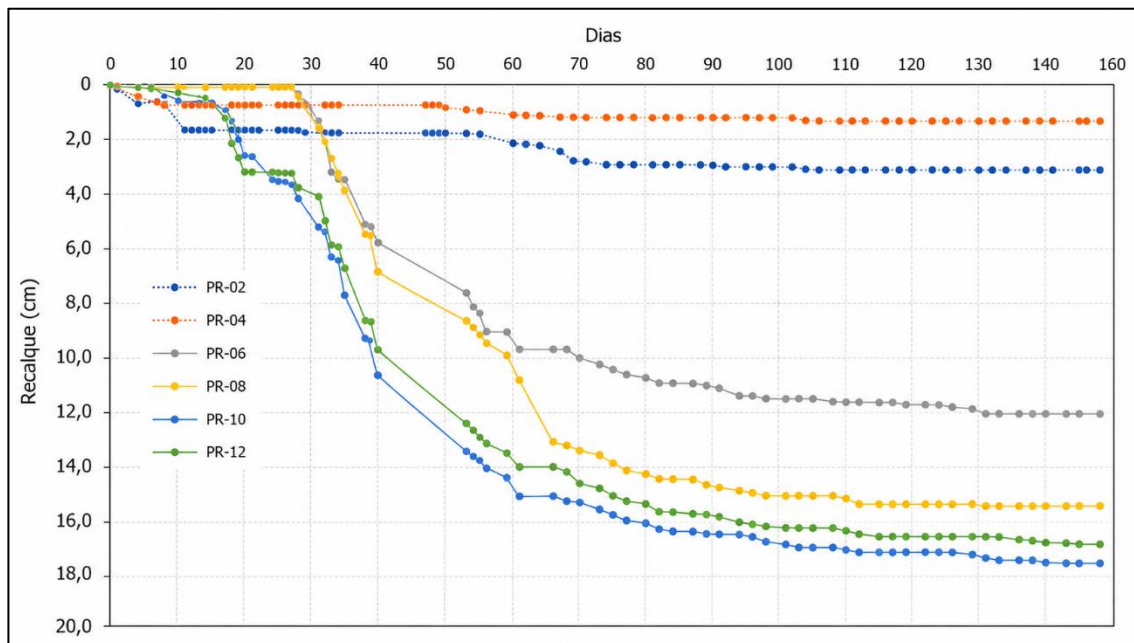


Figura 4 – Variação do recalque ao longo do tempo no Ramo 80 (cm).

3.2 RLE – Ramo 70

No trecho RLE – Ramo 70, foram analisadas as placas de recalque PR1 e PR3. Para este ramo, foi considerada a sondagem SM-01. A variação do recalque ao longo do tempo para o ramo é apresentada na Figura 5.

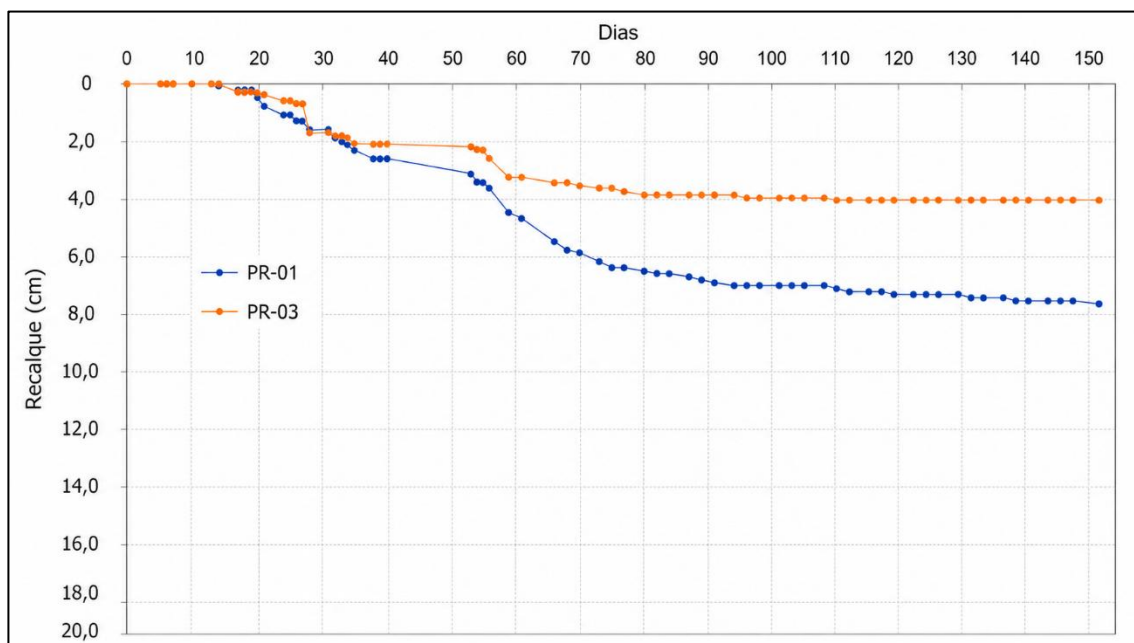


Figura 5 – Variação do recalque ao longo do tempo no Ramo 70 (cm).

3.3 RLE – Ramo 71

No trecho RLE – Ramo 71, foram analisadas as placas de recalque PR5, PR7, PR9, PR11, PR13 e PR15. As investigações geotécnicas associadas ao setor incluem as sondagens SM-06, SPT-01, SM-13 e SM-18.

Durante o acompanhamento, foram observados problemas operacionais relacionados à haste da placa PR-07 a partir de 20/01/2023 (dia 70), o que resultou na interrupção das leituras do elemento afetado a partir dessa data.

A Figura 6 apresenta a variação do recalque ao longo do tempo para este trecho. As séries PR-13 e PR-15 (linhas pontilhadas) correspondem à região associada à sondagem SM-18, enquanto as demais séries correspondem às demais investigações consideradas no ramo.

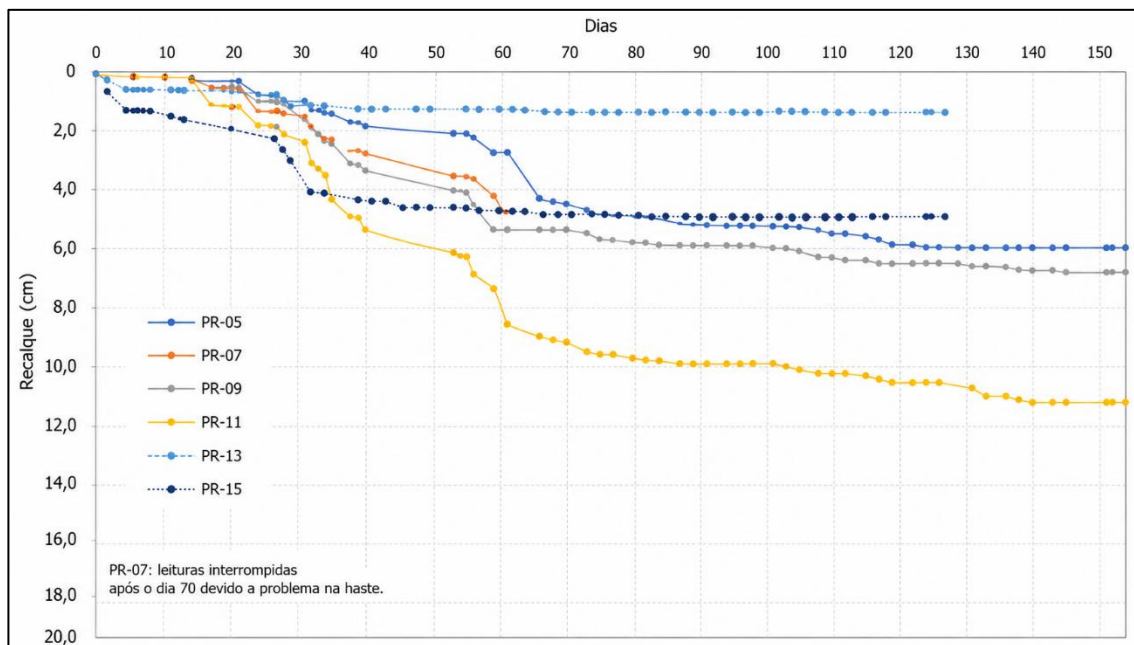


Figura 6 – Variação do recalque ao longo do tempo no Ramo 71 (cm).

4 AVALIAÇÃO DAS LEITURAS DAS PLACAS DE RECALQUE

4.1 Aplicação do método de Asaoka (1978)

Com base nas leituras das placas de recalque, foi estimado o recalque final esperado para cada ponto instrumentado por meio do método de Asaoka (1978), utilizado para interpretar séries temporais de recalque e avaliar a tendência de estabilização do adensamento primário.

O procedimento adotado consiste em discretizar a série de leituras em intervalos constantes de tempo (Δt) e correlacionar recalques sucessivos por meio do gráfico ρ_i (em t_i) versus ρ_{i-1} (em t_{i-1}). O ajuste linear dos pontos fornece a reta do método, cuja interseção com a reta $\rho_i = \rho_{i-1}$ (45°) permite estimar o recalque final. Recomendações e práticas para seleção de Δt e interpretação do método são apresentadas em Ortigão (1995) e Antunes (2012), e exemplos de evolução do parâmetro de ajuste com a incorporação de novos dados podem ser encontrados em Pinto (2001).

A aplicação do método é mais consistente quando as leituras abrangem período representativo após o término da construção e quando o comportamento é dominado pelo adensamento primário. A interpretação pode apresentar maior incerteza quando há mudanças significativas no histórico de carregamento, presença de camadas com condições de drenagem distintas, ou influência relevante do adensamento secundário no período analisado. Assim, as estimativas obtidas devem ser revisadas caso novas leituras indiquem alteração do padrão de evolução temporal dos recalques.

4.2 Análise dos recalques a partir dos dados de campo

O método de Asaoka foi aplicado às leituras disponíveis até abril de 2023, sendo avaliados: (i) o recalque ocorrido no período de monitoramento; (ii) o recalque final estimado pelo método; e (iii) a comparação com o recalque final esperado em projeto, quando disponível. Considerando que o período monitorado é relativamente curto, os valores estimados por Asaoka são interpretados como projeções condicionadas ao intervalo observado, passíveis de atualização à medida que o monitoramento evolua.

A Tabela 1 apresenta a síntese dos resultados por ramo e por placa. De forma geral, verificou-se que os recalques residuais estimados (diferença entre o recalque final estimado por Asaoka e o recalque ocorrido) são baixos, variando tipicamente entre 1 e 13 mm, o que indica tendência de estabilização no período analisado.

Quanto à comparação com os valores de projeto (quando informados), observam-se casos em que o recalque final de projeto é significativamente superior ao recalque final estimado por Asaoka para o período monitorado, como em PR2 (17,0 cm em projeto vs. 3,6 cm em Asaoka), PR8 (31,0 cm vs. 16,5 cm), PR12 (28,0 cm vs. 18,7 cm) e PR11 (45,0 cm vs. 12,3 cm). Essas diferenças são compatíveis com a variabilidade espacial do depósito mole e com as incertezas inerentes à caracterização geológico-geotécnica e à definição de parâmetros de compressibilidade adotados em projeto, além do fato de que a extrapolação pelo método de Asaoka, em janela de dados limitada, reflete predominantemente o comportamento observado no intervalo analisado.

Por fim, adotando-se o critério de obra indicado em projeto de liberação da retirada de sobrecarga a partir da ocorrência de 90% do recalque final, os resultados do método de Asaoka indicam que, para o período analisado, os pontos monitorados se encontram próximos do recalque final estimado, sugerindo condição favorável à estabilização dos recalques. Recomenda-se, entretanto, que a tomada de decisão operacional seja respaldada pela continuidade das leituras e pela verificação da manutenção da tendência de estabilização observada.

Tabela 1 – Valores de recalque medidos, esperados pelo projeto, estimados por Asaoka e residual estimado

Ramo	Placa	Recalque ocorrido (cm)	Recalque final de projeto (cm)	Recalque método Asaoka - Abril/23 (cm)	Recalque residual estimado – Método Asaoka (mm)
RLD - 80	PR2	3,2	17,0	3,6	4,0
	PR4	1,3		1,4	1,0
RLE - 70	PR1	7,5	9,0	8,7	11,6
	PR3	4,0		4,2	2,0
RLD - 80	PR6	12,5	31,0	12,5	-
	PR8	16,1		16,5	4,0
	PR10	18,1		19,3	12,0
	PR12	17,4		18,7	13,0
RLE - 71	PR5	5,9	16,0	7,1	12,0
	PR7	4,7		5,1	4,0
	PR9	6,7		7,2	5,0
	PR11	11,1		12,3	12,0
RLE - 71	PR13	1,4	4,0	1,4	-
	PR15	4,9		5,0	1,0

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou a avaliação do desempenho de um aterro implantado sobre solos moles na BR-116/RS a partir de leituras de placas de recalque, com interpretação pelo método de Asaoka (1978). A organização dos dados por ramos (RLD-80, RLE-70 e RLE-71) permitiu comparar o comportamento entre trechos e verificar a coerência das séries monitoradas no intervalo disponível.

Com base nas leituras até abril/2023, o método indicou recalques residuais baixos, em geral da ordem de 1 a 13 mm, sugerindo tendência de estabilização no período monitorado. Em alguns pontos, observou-se compatibilidade entre recalque ocorrido e recalque final estimado, reforçando a estabilidade da tendência para a janela analisada. Por outro lado, quando comparados aos valores de recalque final previstos em projeto (quando disponíveis), os recalques finais estimados por Asaoka mostraram-se menores em parte dos casos, o que é compatível com a curta duração do monitoramento, a variabilidade espacial do depósito e incertezas associadas à caracterização geotécnica e às premissas de projeto.

Ressalta-se que as conclusões se restringem ao período observado e na continuidade do monitoramento as análises devem ser atualizadas, especialmente em pontos com intercorrências de instrumentação (ex.: falha de haste). Recomenda-se que, durante a utilização deste método, para maior robustez, integrar séries mais longas, histórico detalhado de carregamentos e, quando disponível, informações complementares de investigação/monitoramento para reduzir incertezas e aprimorar a interpretação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Consórcio BR-116 Norte pelo apoio institucional e pela disponibilização das informações e registros de campo que subsidiaram o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, M. S., Marques, M. E. S. (2010). Aterros sobre solos moles: projeto e desempenho. Oficina de Textos.
- Antunes, C. S. G. L. M. (2012). Comportamento dos aterros que compõem a obra do Arco Metropolitano do Rio de Janeiro.
- Asaoka, A. (1978). Observational Procedure of Settlement Prediction. *Soils and Foundations*, v. 18, n. 4, p. 87-101, Dec, 1978.
- Ortigão, J. A. R. (1995). Introdução à mecânica dos solos dos estados críticos. LTC.
- Pinto, Carlos de Souza (2001), Considerações Sobre o Método de Asaoka Solos e Rochas, São Paulo, 24, (1): 95-100, Abril, 2001.