

Controle de Estabilidade de Aterros sobre Solos Moles por Monitoramento Geotécnico: Estudo de Caso em Goiana-PE

Roberto Quental Coutinho

Professor, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, roberto.coutinho@ufpe.br

Danisete Pereira de Souza Neto

Professor, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, Brasil, danisete.psouza2@ufpe.br

Pedro Gomes dos Santos Pereira

Doutorando, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, pedro.gpereira@ufpe.br

Saul Barbosa Guedes

Professor, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, Brasil, saul.guedes@ufpe.br

RESUMO: A construção de aterros sobre solos moles requer monitoramento contínuo devido aos riscos de instabilidade decorrentes da baixa resistência e alta compressibilidade dos depósitos de solos moles. Este trabalho tem como objetivo avaliar a efetividade do monitoramento geotécnico como ferramenta de controle da estabilidade, com base em um estudo de caso envolvendo dois aterros (Aterro 5 e Aterro 3) situados na cidade de Goiana-PE. A campanha de investigação de campo incluiu sondagens SPT, ensaios de palheta e coleta de amostras indeformadas. Em laboratório, as amostras foram submetidas a ensaios de caracterização física, edométricos e triaxiais (UU). No presente artigo, optou-se por apresentar apenas os resultados de caracterização física, enquanto os ensaios de palheta, edométricos e triaxiais, por sua vez, integram o estudo completo que será detalhado em publicação específica, atualmente em preparação para periódico científico. O monitoramento geotécnico consistiu na interpretação de dados de inclinômetros, e o controle da estabilidade foi avaliado pelos métodos propostos por Kawamura e por Almeida. Os resultados da instrumentação demonstraram que, no Aterro 5, os métodos de controle de estabilidade identificaram iminência de ruptura, a qual de fato ocorreu. No Aterro 3, o monitoramento revelou que a estrutura caminhava para a ruptura, porém a paralisação das obras, após a ruptura do Aterro 5, evitou a ruptura do Aterro 3. Os resultados reforçam a relevância de uma abordagem integrada, combinando dados de campo, ensaios laboratoriais e monitoramento geotécnico, para avaliação do comportamento de aterros sobre solos moles.

PALAVRAS-CHAVE: Controle de estabilidade, Solos moles, Monitoramento geotécnico.

ABSTRACT: The construction of embankments on soft soils requires continuous monitoring due to the risk of instability arising from the low strength and high compressibility of soft soil deposits. This study aims to evaluate the effectiveness of geotechnical monitoring as a stability control tool, based on a case study involving two embankments (Embankment 5 and Embankment 3) located in the city of Goiana, Pernambuco. The field investigation campaign included SPT drilling, vane tests, and the collection of undisturbed samples. In the laboratory, the samples were subjected to physical characterization, oedometer, and triaxial (UU) tests. In the present paper, only the results of physical characterization are presented, whereas the vane, oedometer, and triaxial tests form part of the comprehensive study that will be detailed in a separate publication, currently in preparation for a scientific journal. Geotechnical monitoring consisted of the interpretation of inclinometer data, and stability control was assessed using the methods proposed by Kawamura and Almeida. The instrumentation results demonstrated that, in Embankment 5, the stability control methods identified an imminent failure, which indeed occurred. At Embankment 3, monitoring revealed that the structure was on track to fail, but the suspension of construction after the failure of Embankment 5 prevented the failure of Embankment 3. The results reinforce the importance of an integrated approach, combining field data, laboratory tests, and geotechnical monitoring, for assessment of the behavior of Embankment s on soft soils.

KEYWORDS: Stability control, Soft soils, Geotechnical monitoring.

1 INTRODUÇÃO

Rupturas em aterros construídos sobre solos moles representam um dos desafios mais significativos em obras de infraestrutura, não apenas pelo risco à segurança dos usuários, mas também pelos custos associados a reparos, atrasos em cronogramas e prejuízos socioeconômicos. Esse cenário é particularmente relevante em países depósitos de solos moles são amplamente distribuídos ao longo de regiões costeiras e várzeas, impondo restrições ao projeto e à execução de rodovias e outras obras lineares.

A baixa resistência ao cisalhamento e a elevada compressibilidade desses solos tornam indispensáveis estratégias específicas para controle de recalques e estabilidade, demandando soluções que conciliem segurança, desempenho e viabilidade econômica. Nesse contexto, o monitoramento geotécnico, aliado ao uso de métodos observacionais e de controle de estabilidade consagrados na literatura técnica (Kawamura, 1985; Almeida et al., 2000), tem se consolidado como ferramenta essencial na gestão de riscos em obras sobre solos moles. A interpretação sistemática de dados de instrumentação permite identificar precocemente condições críticas, possibilitando intervenções oportunas e reduzindo a probabilidade de rupturas.

Estudos de caso detalhados são fundamentais para a evolução das práticas de engenharia geotécnica, pois oferecem dados empíricos que permitem validar e aprimorar os métodos de análise e monitoramento utilizados em campo. Tais estudos contribuem para a compreensão do comportamento real das estruturas ao longo das diferentes fases construtivas, subsidiando o desenvolvimento de diretrizes de projeto mais seguras e eficazes em contextos de alta complexidade geotécnica.

A expansão urbana desordenada e a elevada densidade populacional observadas na Região Metropolitana do Recife (RMR) contribuíram para a ocupação de áreas constituídas por espessas camadas de solos moles, ampliando os desafios relacionados à infraestrutura em terrenos de baixa capacidade de suporte. Diversos estudos geotécnicos sobre os depósitos de argilas moles da RMR podem ser consultados em Coutinho (1980), Ferreira et al. (1986), Coutinho e Oliveira (1994), Cavalcante et al. (1998), Coutinho et al. (2000), Oliveira (2002) e Coutinho (2007). No caso específico do município de Goiana, estudos com foco em aspectos geológicos e geotécnicos da região podem ser encontrados em Xavier (2007), Souza (2012).

Neste contexto, destaca-se uma obra rodoviária realizada no estado de Pernambuco, vinculada a um convênio entre o Exército Brasileiro e o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), iniciada em 2005, no âmbito das obras de duplicação e restauração da BR-101/PE (Lote 6), com aproximadamente 41 km de extensão em diferentes contextos geológicos. Em um segmento de cerca de 4 km, o aterro para duplicação foi implantado sobre solos moles localizados na várzea de Goiana-PE, onde cinco aterros foram construídos nessas condições.

O foco do presente estudo é o Aterro 5, localizado entre as estacas 3474 e 3490, com 320 metros de extensão, cuja execução foi planejada em etapas com uso de geodrenos para acelerar a dissipação da poropressão. Entretanto, em fevereiro de 2008, ocorreu uma ruptura entre as estacas 3480 e 3488. Para compreender o comportamento e os fatores associados à estabilidade de aterros construídos sobre solos moles, este trabalho tem como objetivo avaliar a efetividade do monitoramento geotécnico como ferramenta de controle, utilizando como estudo de caso principal o Aterro 5 e, de forma complementar, o Aterro 3, ambos localizados no município de Goiana, Pernambuco.

2 PROCEDIMENTOS E MÉTODOS

A área de estudo está situada em um trecho da BR-101-PE implantado sobre depósitos de solos moles, no município de Goiana, Pernambuco. Neste trecho foram construídos diversos aterros, sendo o foco deste estudo o Aterro 5, localizado entre as estacas 3474 e 3490, com 320 metros de extensão, que apresentou ruptura em fevereiro de 2008 no segmento entre as estacas 3480 e 3488. De forma complementar, são apresentados resultados do Aterro 3, visando ampliar a compreensão do comportamento de aterros sobre solos moles na região e demonstrar a efetividade do controle de estabilidade por meio do monitoramento geotécnico com inclinômetros.

A investigação de campo envolveu a execução de onze sondagens SPT, alcançando profundidades médias de 20 metros, além da realização de seis ensaios de palheta para determinação da resistência ao cisalhamento não drenada em profundidades selecionadas. Foram coletadas 6 amostras indeformadas utilizando amostrador Shelby de parede fina, permitindo a obtenção de amostras representativas dos solos moles presentes na área de estudo.

Em laboratório, as amostras foram submetidas a ensaios de caracterização física (granulometria, limites de Atterberg e massa específica dos grãos), ensaios de adensamento (edométricos) e ensaios triaxiais (UU). Cabe destacar, contudo, que no presente artigo são discutidos apenas os resultados de caracterização física, enquanto os resultados dos ensaios de palheta, edométricos e triaxiais integram o estudo completo que será detalhado em publicação específica, atualmente em preparação para periódico científico.

O monitoramento geotécnico foi realizado por meio da instalação de quatro inclinômetros no Aterro 5 (Figura 1) e três inclinômetros no Aterro 3, posicionados estrategicamente ao longo dos aterros para medir os deslocamentos horizontais durante e após as fases construtivas. Os dados obtidos subsidiaram a avaliação do comportamento real dos aterros frente às condições de carregamento e previsões de projeto, permitindo a aplicação de métodos consagrados de análise de estabilidade e a verificação da efetividade do monitoramento como ferramenta de controle em obras sobre solos moles.

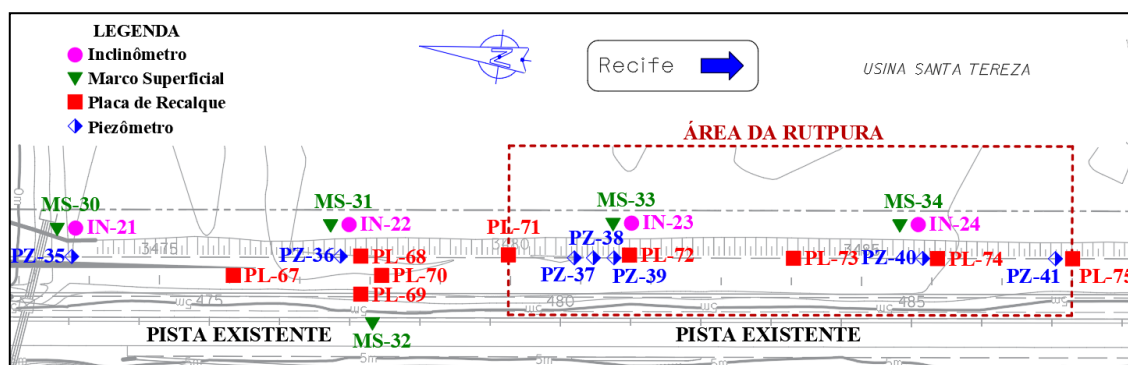


Figura 1. Localização da instrumentação geotécnica instalada no Aterro 5.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Perfil geológico-geotécnico

O município de Goiana integra a Província Borborema, de idade pré-cambriana, cuja geologia local inclui litotipos dos complexos Salgadinho e Vertentes, a Formação Beberibe, o Grupo Barreiras e depósitos aluvionares, flúvio-lagunares e flúvio-marinhos. Dentre essas unidades, a Formação Barreiras apresenta a maior ocorrência superficial na região, enquanto o embasamento cristalino, representado por colinas, ocorre de forma restrita em uma faixa localizada a oeste do município.

Na área entre o Rio Goiana, os manguezais adjacentes e a rodovia BR-101, onde se encontra o trecho em estudo, predominam depósitos flúvio-lagunares compostos por sedimentos aluvionares, lagunares, deltaicos e estuarinos, tanto antigos quanto recentes. Esses depósitos possuem significativa quantidade de materiais argilosos e orgânicos, sendo comum a presença de camadas de turfa em locais onde a velocidade de fluxo é reduzida.

A Figura 2 apresenta uma seção transversal representativa do Aterro 5, destacando a composição estratigráfica do subsolo ao longo do eixo do aterro. Com base na sondagem SP-22, foram identificadas quatro camadas distintas: (i) uma camada superficial de silte argiloso, com aproximadamente 1,0 metro de espessura e valores de NSPT inferiores a 1, indicando baixa resistência; (ii) uma camada espessa de argila siltosa extremamente mole, com cerca de 14,8 metros de espessura e presença de matéria orgânica, caracterizando um depósito de elevada compressibilidade e baixa capacidade de suporte; (iii) uma camada de silte argiloso, com 2,0 metros de espessura e N_{SPT} médio de 15, indicando uma melhoria gradual das condições de resistência; e (iv) uma camada de areia fina amarelada, com 1,2 metro de espessura e N_{SPT} médio de 24, representando a camada de melhor capacidade de suporte do perfil estudado.

Esse perfil confirma a presença de depósitos espessos de argila mole semelhantes aos descritos em outras regiões da RMR (Coutinho, 1980; Coutinho e Oliveira, 1994; Oliveira, 2002), o que reforça a coerência dos resultados obtidos em Goiana com o comportamento já documentado em áreas vizinhas. A principal diferença observada está na presença mais significativa de matéria orgânica, o que potencializa a compressibilidade e torna o monitoramento ainda mais primordial.

Na região correspondente ao aterro sob a pista pré-existente, identificou-se também a presença de quatro camadas principais: (i) uma espessa camada de areia siltosa, associada a aterro antigo, com espessura variando entre 10 e 14,2 metros e N_{SPT} médio de 7; (ii) uma camada de argila siltosa de alta plasticidade, com espessura entre 1,8 e 7,0 metros, sugerindo potenciais zonas de recalque; (iii) uma camada de silte argiloso, com N_{SPT} médio de 11; e (iv) uma camada de areia fina amarelada, com 2,0 metros de espessura e N_{SPT} médio de 11.

Ressalta-se que não foram encontrados registros sobre o método construtivo adotado no aterro da pista pré-existente. Contudo, a geometria identificada na seção obtida pelas sondagens SPT indica a possibilidade de rupturas ocorridas durante a construção ou de instabilidades induzidas ao longo do processo construtivo, possivelmente associadas ao carregamento progressivo sobre os solos moles subjacentes.

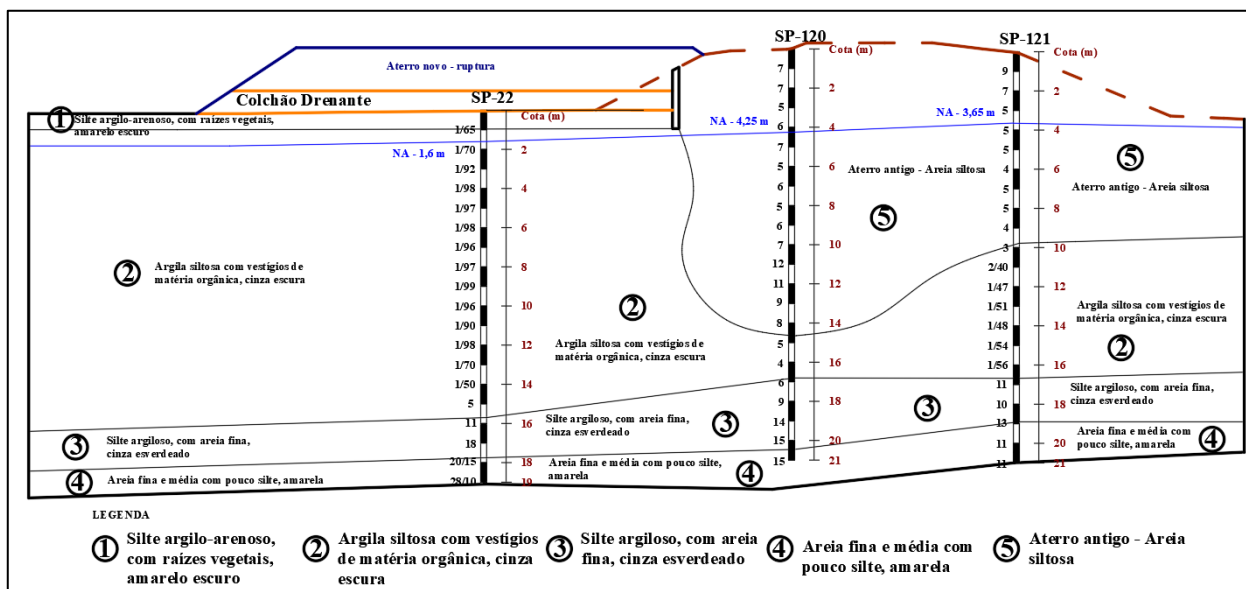


Figura 2. Perfil geotécnico – Aterro 5.

3.2 Caracterização física

A caracterização física dos solos moles presentes na área de estudo foi realizada por meio de ensaios de granulometria, determinação dos limites de Atterberg e massa específica dos grãos, conforme apresentado na Tabela 1. As amostras, coletadas em profundidades distintas nos aterros analisados, apresentaram resultados similares, sendo observado, para o Aterro 5, que a amostra mais próxima da superfície (2 metros) possui fração argila, teor de umidade natural, índice de plasticidade e índice de vazios ligeiramente inferiores em relação às amostras coletadas em profundidades maiores.

Essa variação sugere que a camada superficial pode apresentar compressibilidade menor e maior resistência relativa, o que, embora positivo, não elimina a predominância do comportamento crítico associado à espessa camada de argila mole subjacente. Essa mesma tendência já foi relatada por Ferreira et al. (1986) e Coutinho (2007), que destacam a heterogeneidade vertical como fator de risco na previsão de recalques diferenciais.

A Figura 3 compara os resultados de peso específico natural (γ_{nat}) versus teor de umidade natural (W_n) e limite de liquidez (LL) versus índice de plasticidade (IP) com o banco de dados da Região Metropolitana do Recife, permitindo a inserção dos dados obtidos em um contexto regional. De forma geral, os parâmetros dos solos moles de Goiana-PE, associados aos Aterros 5 e 3, demonstraram compatibilidade com os dados regionais, indicando coerência nos resultados obtidos. Contudo, destaca-se a importância da ampliação dos ensaios na região de Goiana para obtenção de uma base de dados mais abrangente, visando subsidiar de forma mais robusta as análises de estabilidade e os projetos de obras em áreas com solos moles na várzea de Goioana.

De forma geral, os parâmetros dos solos moles de Goiana-PE mostraram compatibilidade com os dados regionais, o que indica coerência nos resultados. Apenas uma amostra, no Aterro 3 a 10 m de profundidade (LL = 41%, IP = 21%), apresentou valores no limite inferior em relação à faixa típica da RMR (LL entre 60%–90% e IP entre 20%–40%, segundo Coutinho, 2007). As demais amostras situaram-se entre 64% e 71% de LL

e 25% a 36% de IP, posicionando-se no intervalo médio a superior da região, o que reforça a necessidade de atenção às camadas mais plásticas no contexto da estabilidade de aterros.

Tabela 1. Resultados da caracterização física

Aterro	Est.	Prof. (m)	Composição granulométrica				w_n (%)	LL (%)	IP (%)	γ_{nat} (kN/ m ³)
			C	M	SF	SM				
3	3359	6	66	26	8	0	102,41	64,0	34,0	14,54
		10	46	24	28	2	63,74	41,0	21,0	15,73
		14	69	26	5	0	64,80	69,0	36,0	15,71
5	3475	2	62	28	10	0	99,9	64	25	14,4
		6	78	20	2	0	120,4	65	26	13,8
		11	74	20	6	0	126,3	71	30	14,0

C – Argila; M – Silte; SF – Areia Fina; SM – Areia Média

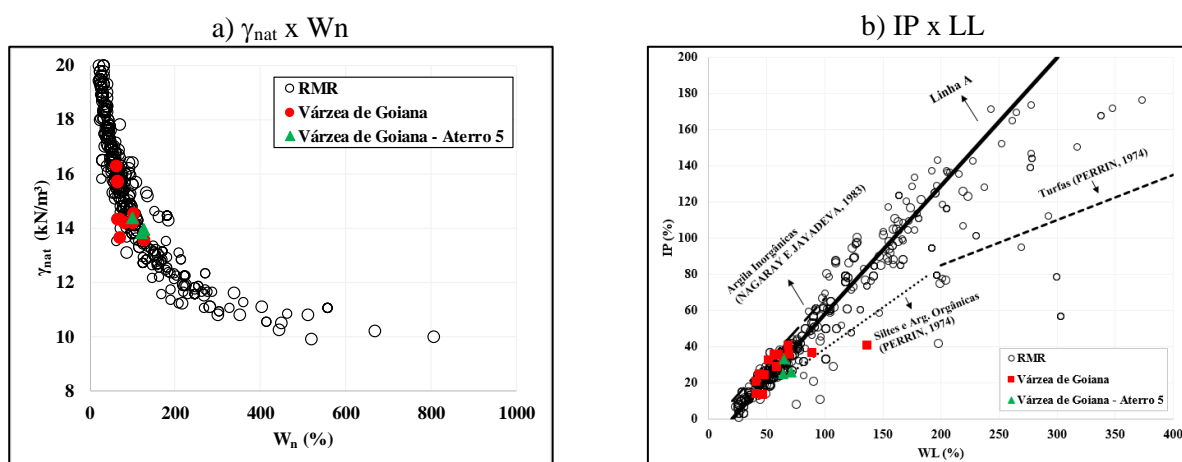


Figura 3. Correlação de resultados de caracterização com o banco de dados da RMR. Fonte: Souza Neto, 2023.

3.3 Deslocamentos horizontais - inclinômetro

A estabilidade dos aterros foi monitorada de forma qualitativa, considerando os deslocamentos horizontais registrados pelos inclinômetros instalados na obra. Para o Aterro 5, os dados de deslocamento foram obtidos a partir do inclinômetro IN-23 (Figura 4), enquanto o comportamento do Aterro 3 foi acompanhado pelo inclinômetro IN-12 (Figura 5).

Ressalta-se que, embora os dados obtidos por inclinômetros forneçam subsídios relevantes para a avaliação do comportamento de aterros sobre solos moles, os resultados são pontuais e refletem as condições específicas do local de instalação do equipamento. Devido à variabilidade estratigráfica do subsolo e às possíveis diferenças na taxa de carregamento em diferentes trechos do aterro, os deslocamentos registrados em um ponto podem não representar integralmente o comportamento observado em outros setores da obra.

Ainda assim, o monitoramento por inclinômetros constitui uma ferramenta essencial para a identificação de tendências de deslocamentos e avaliação preliminar da estabilidade em obras sobre solos moles, permitindo a adoção de medidas preventivas ou corretivas quando necessário, de forma a reduzir riscos associados a rupturas ou recalques excessivos durante a fase construtiva ou em operação.

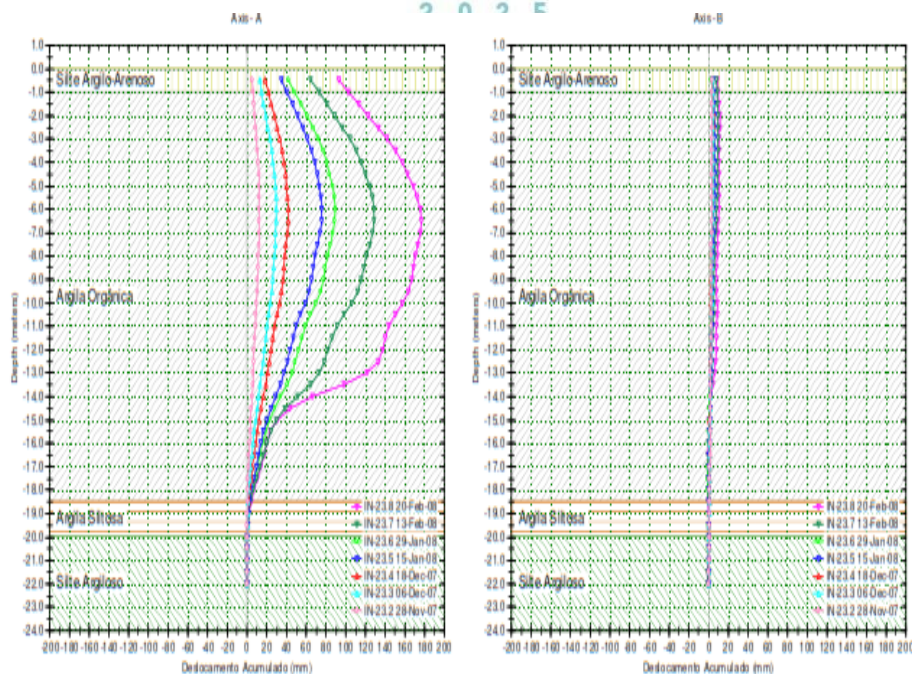


Figura 4. Deslocamento acumulado, IN-23, Aterro 5.

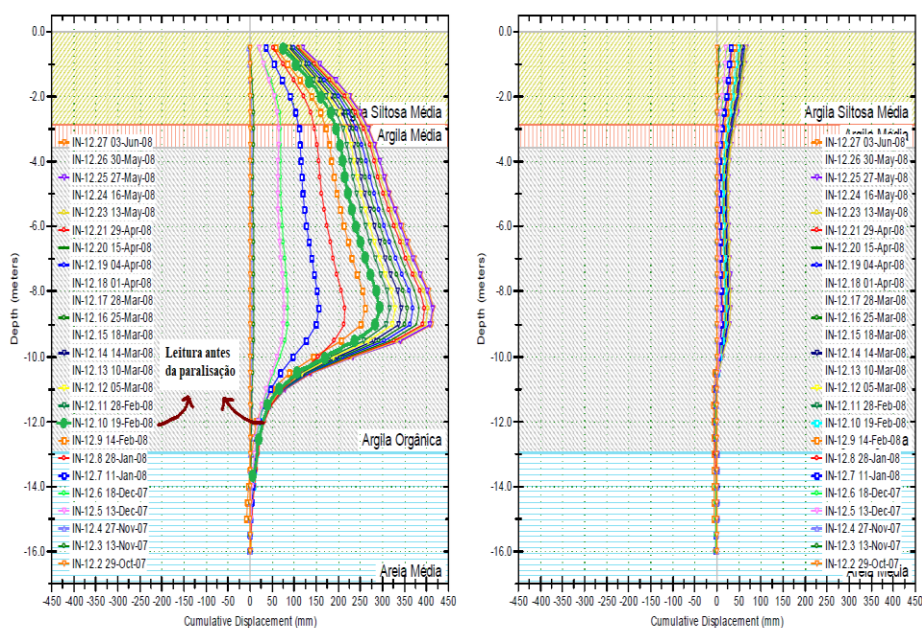
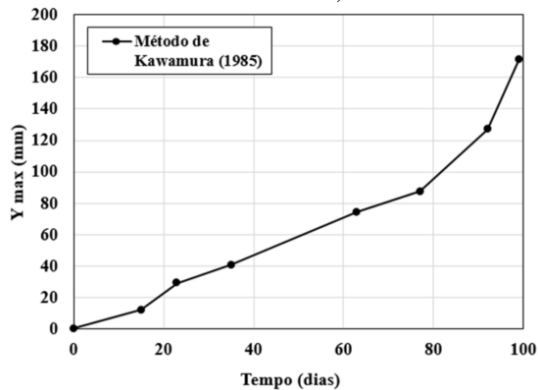


Figura 5. Deslocamento acumulado, IN-12, Aterro 3.

A Figura 6 apresenta a análise do Aterro 5 pelos métodos de Kawamura (1985) e Almeida et al. (2000). Os deslocamentos mostraram comportamento divergente, sinalizando aproximação de uma condição crítica de ruptura. Essa tendência foi confirmada pelo aumento da velocidade de distorção, que na última leitura variou entre 0,5% e 1,5% ao dia, caracterizando situação de alerta segundo os critérios adotados. Esses resultados reforçam a efetividade do monitoramento geotécnico contínuo como ferramenta preventiva para identificação precoce de instabilidades em aterros sobre solos moles.

Esse comportamento é consistente com o relatado por Kawamura (1985), em que a aceleração dos deslocamentos é interpretada como prenúncio de instabilidade iminente. Entretanto, ressalta-se que os métodos aplicados são essencialmente qualitativos, dependendo da frequência das leituras e da correta interpretação das tendências. Nesse sentido, recomenda-se a integração com análises numéricas e retroanálises (Souza Neto, 2023), de modo a ampliar a confiabilidade das previsões e reduzir a subjetividade.

a) Máximo deslocamento horizontal versus tempo
– Kawamura, 1985

b) Variação da velocidade de distorção ao longo do tempo - Almeida et al., 2000

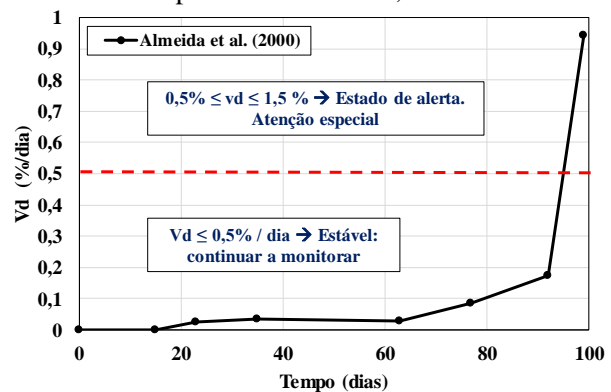
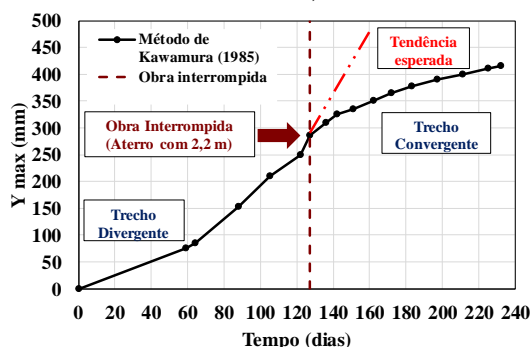


Figura 6. Controle de estabilidade do Aterro 5.

A Figura 7 mostra a análise do Aterro 3 pelos métodos de Kawamura (1985) e Almeida et al. (2000). Inicialmente, os deslocamentos apresentaram tendência divergente, sugerindo proximidade de instabilidade. Após a paralisação do carregamento, houve transição para comportamento convergente, indicando estabilização progressiva. A avaliação da velocidade de distorção em profundidades críticas atingiu a zona de alerta no último estágio de carregamento, mas reduziu após a dissipação da poropressão, permanecendo em faixa de atenção. Esse resultado evidencia o efeito imediato da suspensão das cargas como medida de mitigação e confirma a utilidade do monitoramento para acompanhar a evolução da estabilidade

Esse resultado mostra claramente o efeito da paralisação do carregamento como medida de mitigação imediata, corroborando a relevância do monitoramento contínuo. Também evidencia que fatores locais, como variação estratigráfica e sequência construtiva, influenciam diretamente os padrões de deslocamento observados — aspecto já ressaltado em trabalhos como Almeida et al. (2000) e Coutinho (2007). Portanto, o caso de Goiana contribui para reforçar a ideia de que resultados de instrumentação não devem ser generalizados sem considerar a heterogeneidade do subsolo e as condições específicas de execução.

a) Máximo deslocamento horizontal versus tempo
– Kawamura, 1985

b) Variação da velocidade de distorção ao longo do tempo - Almeida et al., 2000

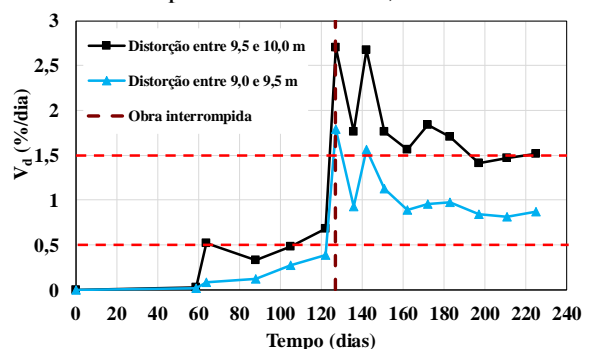


Figura 7. Controle de estabilidade do Aterro 3.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise realizada neste estudo demonstrou a relevância do monitoramento geotécnico como instrumento de controle da estabilidade de aterros construídos sobre solos moles, possibilitando a identificação de comportamentos críticos e a adoção de medidas preventivas antes da ocorrência de rupturas. A combinação entre dados de campo, ensaios de laboratório e monitoramento por inclinômetros permitiu compreender de forma integrada o comportamento dos aterros estudados, destacando a importância de abordagens multidisciplinares em obras geotécnicas complexas.



2025

Os métodos qualitativos propostos por Kawamura (1985) e Almeida et al. (2000) mostraram-se eficientes na interpretação dos deslocamentos horizontais e das velocidades de distorção, funcionando como ferramentas de alerta em relação à estabilidade dos aterros monitorados. No caso do Aterro 5, os sinais de instabilidade identificados foram confirmados pela ocorrência do colapso, validando a capacidade preditiva dos métodos aplicados. Já para o Aterro 3, os registros apontaram tendência de instabilidade que foi interrompida com a paralisação do carregamento após a ruptura no Aterro 5, permitindo a progressiva estabilização em função da dissipação da poropressão.

Os resultados reforçam a importância de considerar as variações estratigráficas locais e as condições de carregamento durante o monitoramento, uma vez que essas variáveis influenciam diretamente o comportamento observado ao longo do tempo. Destaca-se também a necessidade de ampliação de bancos de dados regionais sobre os parâmetros geotécnicos de solos moles, a fim de subsidiar os projetos e análises de estabilidade em obras futuras, contribuindo para a redução de riscos e o aumento da segurança em empreendimentos implantados em contextos geotécnicos complexos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, M. S. S.; Oliveira, J. R. M. S.; Spotti, A. P. (2000) Previsão e desempenho de aterro sobre solos moles: estabilidade, recalques e análises numéricas. In: Encontro Técnico Previsão de Desempenho X Comportamento Real, 2000, São Paulo. *Anais [...]*. São Paulo: ABMS/NRSP. p. 69-94.
- Cavalcante, E. H.; Bezerra, R. L. & Coutinho, R. Q. (1998). Avaliação da Resistência Não Drenada de um Depósito de Argila Mole Saturada a Partir do Pressiômetro Ménard. In: XI COBRAMSEG - Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 1997. *Anais...* ABMS, v. 02. p. 785-792.
- Coutinho, R. Q. (1980). *Estudo da caracterização geotécnica da argila mole do Recife*. Pesquisa CNPq, relatório de atividade. Recife.
- Coutinho, R.Q. & Oliveira, J.T.R. (1994). Propriedades geotécnicas das argilas moles do Recife – Banco de dados – X COBRAMSEG, Foz do Iguaçu. *Anais...* ABMS, Vol.2: 563-572.
- Coutinho, R.Q. Oliveira, J.T.R. & Santos, L.M. (2000). Database of in situ Test Results from Recife Soft Clays – Innovations and Applications in Geotechnical Site Characterization - Geotechnical Special Publication No. 97 – ASCE - *Proceedings of GEODENVER 2000* - USA-pp: 142-154.
- Coutinho, R.Q. (2007). Characterization and engineering properties of Recife soft clays – Brazil. Characterization and Engineering Properties of Natural Soils, Taylor and Francis – Balkema, Editors Tan, Phoon, Hight and Leroueil, v. 3, pp. 2049-2100.
- Ferreira, S. R. M.; Amorim Júnior, W. M. & Coutinho, R. Q. (1986) Argila Orgânica Mole do Recife - Banco de Dados. In: VIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. *Anais...* ABMS, Porto Alegre.V. 1. p. 183-196.
- Kawamura, K. (1985) Methodology for landslide prediction. In: XI International Conference on Soil Mechanics And Foundation Engineering, 11., San Francisco. *Anais [...]*. San Francisco, 1985. v. 3, p. 1155-1158.
- Oliveira J, T. R. (2002). *Influência da Qualidade da Amostragem no Comportamento Tensão- Deformação- Tempo das Argilas Moles*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ – DEC-UFPE.
- Souza, F. Q. (2012). *Avaliação da aplicabilidade de poliestireno expandido (EPS) em aterro sobre solos moles em obra de duplicação da BR 101, Goiana-PE*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, UFCG, Campina Grande, Brasil.
- Souza Neto, D. P. (2023) *AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE ATERRO CONSTRUÍDO SOBRE SOLO MOLE: Monitoramento Geotécnico e Modelagem Numérica Bidimensional e Tridimensional*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco / UFPE, 205 p.
- Xavier, M. W. (2007). *Caracterização geomorfológica, sedimentológica e aspectos ambientais do litoral de Goiana, Pernambuco*. Dissertação de Mestrado em Geociências, UPFE, Recife, Brasil.