

Diagnóstico de Recalques em Aterro Leve Sobre Solo Mole na BR - 101/NE

Gerson Holanda Curvêlo de Figueirêdo Arnóbio
UNIFAVIP, Caruaru-PE, Brasil, garnobio10@hotmail.com

Giovanna Feitosa de Lima
UNIFAVIP, Caruaru-PE, Brasil, giovannafeitosa@gmail.com

Merllyen Samara da Silva Alves
UNIFAVIP, Caruaru-PE, Brasil, merllyen_alves@hotmail.com

Larissa Santana Batista
UNIFAVIP, Caruaru-PE, Brasil, larisantanabatista@gmail.com

RESUMO: Depósitos de solos moles são barreiras críticas a serem vencidas pela construção civil pois sua composição predominantemente argilosa e presença acentuada de matéria orgânica resultam em baixos valores de resistência ao cisalhamento, desta forma são frequentes os casos em que há incidência de problemas devido à ausência de medidas adequadas que garantam a estabilidade do sistema e o total adensamento deste solo adequando-o ao carregamento que deverá suportar. Em alguns casos, a depender das características do depósito a estabilizar, a retirada e substituição do material tornam-se inviáveis, principalmente se a profundidade ultrapassar 5 metros. Este é o caso da duplicação da rodovia BR - 101/NE no lote 6, que em seu Projeto Executivo contemplou trechos da duplicação sobre cinco depósitos de solo mole. Todos os depósitos receberam soluções viáveis e completas, à exceção dos Aterros 2B e 3, nos encontros da Ponte sobre o Canal Goiana, que ainda apresentam recalques, mesmo três anos após a conclusão das obras. A análise dos projetos conduz à suspeita de que os recalques continuam a ocorrer em virtude da execução parcial do projeto que previa uma sobrecarga vertical em solo sobre ambos os depósitos e tempo de espera inicial de seis meses com monitoramento do adensamento. A sobrecarga pode não ter sido realizada em nenhum dos trechos e as consequências são sentidas atualmente pelos usuários da rodovia quando do impacto dos veículos contra a laje de aproximação da Ponte sobre o Canal Goiana. Este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa qualitativa. No que diz respeito aos objetivos, este estudo classifica-se como exploratório, pois proporciona maior familiaridade com o problema e o torna explícito facilitando a demonstração das hipóteses. Ao analisar o tráfego atual, em comparação com o tráfego projetado, fica demonstrado que o trecho analisado não recebe carregamento superior ao estimado, denotando adequação do projeto ao fluxo registrado. Pode-se observar ainda que as premissas de projeto têm características predominantemente conservadoras, não cabendo contestação das mesmas. Resta então o questionamento sobre a fiel reprodução dos processos executivos e de monitoramento da sobrecarga e dos recalques alcançados.

PALAVRAS-CHAVE: Solos Moles, EPS, Aterro, Sobrecarga, Recalques.

e 1,85m, respectivamente.

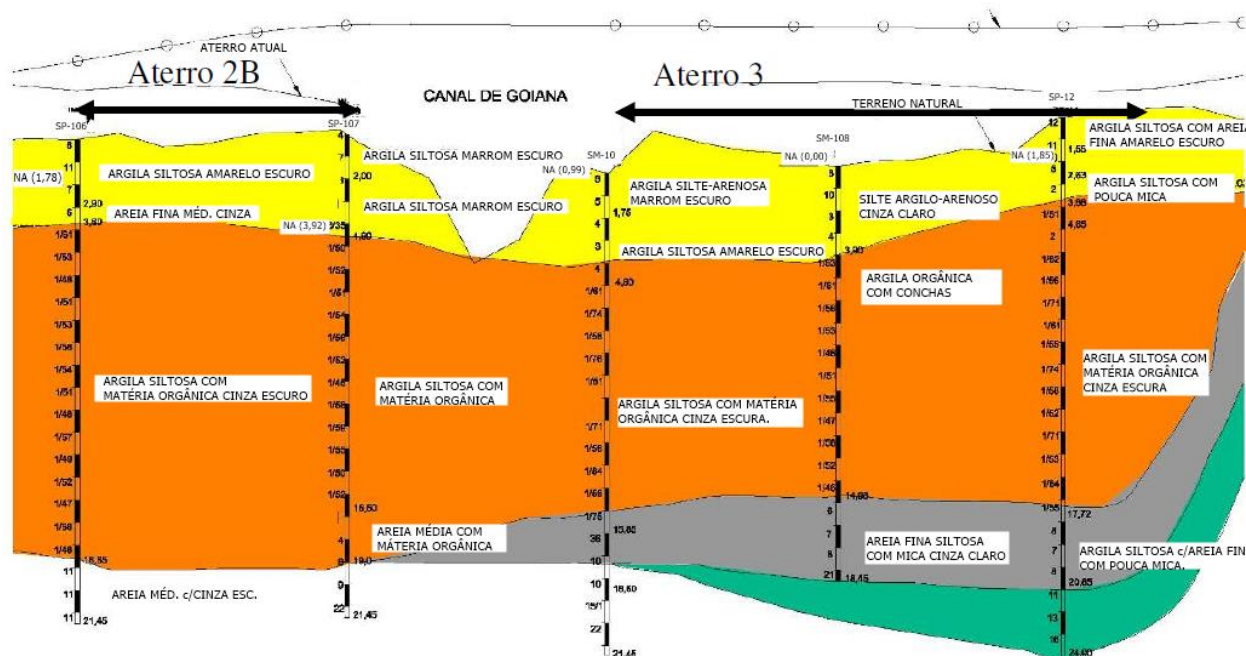


Figura 2. Perfil geológico da região entre os aterros 2B e 3.
Fonte: Estudo de alternativas para estabilização do aterro 2B – Maia Melo Engenharia LTDA, 2010.

Os parâmetros de resistência adotados para a camada de solo mole foram baseados em uma média aritmética de ensaios de palheta (Vane Test), realizados no local, e após análise dos resultados, foi possível estimar uma resistência não drenada de 22kPa. Os critérios de dimensionamento utilizados foram: fatores de segurança para análise de estabilidade, sobrecarga e análise de estabilidade. De acordo com a norma ABNT NBR 11.682/2009, a execução dos aterros 2B e 3, apresenta uma alta exigência de segurança em relação à possibilidade de perdas de vidas humanas. Quanto à possibilidade de danos materiais e ambientais o grau de exigência é médio. Para análise da estabilidade foi considerada uma sobrecarga acidental de 10kPa no acostamento e de 20kPa na faixa de rolamento, esse processo foi executado através do método de Bishop Simplificado.

Na situação em que se realizou o projeto, a estabilidade de ambos os aterros era considerada aceitável. Porém, para ser analisada a necessidade de reforço para o aterro, foram estimadas a execução total do aterro e as

sobrecargas proveniente da ação do tráfego. Os resultados foram, então, negativos, pois verificou-se que as condições não ofereciam o fator de segurança mínimo recomendado pela norma. Sendo assim, várias alternativas foram estudadas, visando fatores condicionantes como: prazo de instalação, custo, facilidade, etc.

Após análises de ensaios de campo e de vários estudos sobre as soluções estipuladas, recomendou-se o uso do aterro leve com EPS, apresentando um menor custo e prazo para a execução.

Em 2012, após uma ruptura dos aterros por sub-pressão, quando o nível d'água atingiu a cota de 5,55m, superando então 2,7m a cota estimada de 2,85m da máxima cheia para TR=100 anos, foi apresentada uma solução final contemplando a nova cota de máxima cheia, ou seja, a utilização de EPS (Isopor de Alta Densidade), para a execução do aterro. Todas as demais premissas do projeto inicial de 2010 foram mantidas, porém novas considerações foram feitas, como a utilização de uma sobrecarga (EPS + Laje + Pavimento), onde seria necessário, sobre o EPS, pelo menos

0,80m de pavimento e 0,10m de laje de concreto para obter a carga final, o reestabelecimento do projeto pode ser analisado na figura 3.

A solução prevista em projeto para a execução do aterro em questão previu escavação de 7,9 metros, aterro em solo de densidade 18kN/m³ com 5,5 metros de altura e duas camadas de EPS, totalizando dois metros de altura. Antes da aplicação do EPS, o projeto previu a estabilização do aterro com uma sobrecarga de 1 metro em material de densidade 18kN/m³, gerando um carregamento provisório de 20kPa. Esta sobrecarga estaria acompanhada de um monitoramento dos recalques efetivamente produzidos a fim de que se estabelecesse o prazo de retirada do carregamento e continuidade da execução do aterro, sendo previsto o mínimo de 6 meses, até que houvesse estabilização e consequentemente a eliminação ou redução de recalques de ordem significativa durante a utilização da rodovia.

+ 7,90m	PAVto ACABADO	
+ 7m		LAJE + PAVto
+ 6m		(EPS)
NA Máx cheia + 5,55m	ATERRO (SOBRECARGA)	(EPS)
+ 5m		BASE DE APOIO
+ 4m	ATERRO	
+ 3m	ATERRO	
+ 2m	ATERRO	
- 1m	silte argiloso mole com SPT médio de 3/30 Su = 30 kPa (adotado)	
- 16m	argila mole orgânica Su médio = 26,5 kPa Su adotado = 25 kPa	

Figura 3. Seção do aterro com utilização de EPS.

Fonte: Projeto executivo dos aterros 2B e 3 do lote 6 com utilização de EPS – Geoprojetos Engenharia Ltda., 2012.

4. A EXECUÇÃO

Destinado a atender soluções convencionais que utilizassem técnicas e insumos de custos viáveis e facilmente disponíveis, que não demandassem longos prazos de instalação, fornecendo facilidade do processo executivo e limitação da solução em função das faixas de domínio existentes, o procedimento de execução do aterro com EPS e geomembrana deu-se sob um trabalho minucioso e

estabelecido no Projeto Executivo dos Aterros 2B e 3 do lote 6 com utilização de EPS:

- Altura de EPS necessária: variável de 1,50m a 4,50m;
- Altura de pavimento acima do EPS: variável de aterro compactado entre o pavimento e a laje;
- Os blocos de EPS foram protegidos contra ataques de roedores e agentes químicos utilizando-se uma geomembrana lisa de PEAD (polietileno de alta densidade) com espessura mínima de 1mm;
- Logo acima da geomembrana, foi lançada uma laje armada com tela Q335, 10cm de espessura e resistência igual a 15MPa, para proteger o EPS contra puncionamento e distribuir as cargas concentradas induzidas pelo tráfego ;
- Dimensões mínimas de bloco EPS utilizado de 2,0 x 1,0 x 0,5 m;
- Os taludes laterais da pilha de blocos, foram executados em forma de escada, sobre os quais foi lançada uma camada de aterro, de no mínimo 0,60m e compactada com compactador manual;
- As remessas de blocos de EPS somente eram recebidas quando acompanhadas de laudos técnicos atestando a adequabilidade de suas características mecânicas às especificadas em projeto;

O projeto previa que o aterro 2B, que encontra-se entre as estacas 3320 e 3344, com cerca de 480m de extensão, possuísse altura média prevista de 4,0m, com acréscimo de 3,0m de sobrecarga, enquanto que o aterro 3, que encontra-se entre as estacas 3350+4,40 e 3365, com cerca de 300m de extensão, em projeto inicial realizado em 2004 possuía uma altura média prevista de 4,8m com acréscimo de cerca de 2,0m de sobrecarga equanto que em revisão realizada em 2010, o greide da pista foi rebaixado para uma altura média de 4,0m, mantendo os 2,0m de sobrecarga.

Esta sobrecarga teria a finalidade de provocar o máximo de recalques primários e secundários, sob o solo de fundação que apresenta grandes bolsas de argila, localizadas à grandes profundidades. Estes recalques deveriam ser monitorados, por um período

mínimo de 6 meses, ou até que fosse detectado que os máximos recalques teriam sido sofridos, somente posteriormente deveria ser executado o aterro em EPS.

Entretanto, é possível supor que as especificações da sobrecarga não foram adotadas, de forma que, aproximadamente 4 anos após a execução do projeto, são visíveis os recalques sofridos pelas bolsas de argila sob a cabeceira da ponte do Canal Goiana, sendo adotadas medidas antieconômicas para solucionar os mesmos, que não apresentam prazos e expectativas de serem estabilizados.

Outra possibilidade, entretanto, é que o tráfego gerado pela duplicação tenha sido muito maior que o tráfego de horizonte de projeto, provocando um sobrecarregamento ao pavimento, capaz de motivar os recalques percebidos na figura 4.



Figura 4. Desnível existente no pavimento da BR, cerca de 10 centímetros.
Fonte: Produzida.

5. TRÁFEGO DE PROJETO X TRÁFEGO ATUAL

O estudo de tráfego foi desenvolvido para identificar as características do tráfego e fornecer auxílio para as necessidades apontadas pelo projeto. O estudo foi constituído de vários indicadores importantes.

5.1 Taxa de Crescimento de Tráfego:

Tabela 1. Crescimento de tráfego ao ano.

Segmento	Automóveis	Ônibus	Caminhões
Div. PB/PE - Goiana	5,2% ao ano	2,6% ao ano	2,6% ao ano

5.2 Pesquisas Complementares:

Foram realizadas pesquisas complementares volumétricas/classificadoras durante sete dias consecutivos, hora-a-hora, por sentido e indicando cada categoria em ambos segmentos, os valores obtidos e corrigidos foram:

Tabela 2. Frota de veículos diária.

Segmento	Frota de Veículos				
	Ano	Auto	Ônibus	Cam	Total
Divisa PB/PE - Goiana	2001	3881	201	1665	5747

5.3 Análise do Tráfego Atual

O projeto aplicou à contagem de veículos fatores de 2,6% a 5,2% ao ano, como taxa de crescimento provável para o tráfego, em função do tipo de veículo. A tabela a seguir resume o tráfego esperado para o ano horizonte de 2015.

Tabela 3 – Tráfego no Ano Horizonte de Projeto

Segmento	Frota de Veículos				
	Ano	Auto	Ônibus	Cam	Total
Divisa PB/PE - Goiana	2015	7.892	288	2.385	10.564

O site SIOR – Sistema Integrado de Informações Rodoviárias, apresentou dados semelhantes para o ano da pesquisa, com VMD anual de 10.266 veículos, próximos dos 11.455 contados pelo projetista. Entretanto, o PNCT – Plano Nacional de Contagem de Tráfego apresenta dados para o ano de 2015, aferidos pelo equipamento instalado no Km 101,75 da BR-101/PB, localizado próximo à Divisa PB/PE, conforme resumido na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição de Tráfego BR-101/PB Km 101,75, 2015.

Sentido de Deslocamento	Autos	Ônibus (2 eixos)	Caminhão (3-9 eixos)
% Crescente	81,45%	5,92%	12,70%
% Decrescente	80,62%	5,22%	14,15%
QTD Crescente	8.335	606	1.299
QTD. Decrescente	8.251	535	1.448

O tráfego aferido em 2015 chega a ser 9% maior que o tráfego estimado pelo projetista quando se avalia autos e ônibus. Entretanto, são

os veículos de carga que tem maior representatividade na determinação do Fator de Veículo para o cálculo do Número N de projeto, e estes veículos apresentam redução quantitativa de 39% em relação ao tráfego estimado. Além disso, o VMD apresentado pelo PNCT em 2015 é 3% menor que o VMD estimado para 2015.

6. CONCLUSÃO

Depois de analisar a composição de tráfego estimado para o ano horizonte de projeto e os dados do PNCT para aquele trecho em 2015, verifica-se que não há alteração significativa entre os valores, principalmente quando se leva em consideração a diminuição representativa do número de veículos de carga no tráfego real no ano de 2015.

Outra observação importante é que o Número N foi definido para o projeto do pavimento de todo o Lote 6, e os 41,4 km apresentam-se bem conservados e em excelentes condições de tráfego, sendo observado, inclusive, a baixa incidência de manutenção corretiva dispensada à rodovia.

Por outro lado, os recalques observados na várzea do Canal Goiana são destoantes das condições predominantes na rodovia, apresentando trilhas de rodas pouco evoluídas e desníveis de até 135 mm.

Diante das observações realizadas trafegando na rodovia e da análise dos projetos e dos dados de tráfego disponíveis nos sistemas de controle, podemos concluir que o tráfego não tem influência preponderante sobre o recalque percebido nos encontros da Ponte sobre o Canal Goiana.

É possível ainda afirmar que as premissas de projeto são bastante conservadoras, e não há razões para discutir os parâmetros utilizados.

Quanto à execução, não há informações suficientes sobre os procedimentos adotados, embora as duas rupturas sofridas antes da conclusão do trecho possam sugerir que foram encontrados problemas durante os processos de implantação.

Não há confirmação também da execução das camadas de sobrecarga, entretanto, dados os recalques observados e o tempo de execução da

obra, que iniciou sua etapa conclusiva em 2012 e foi finalizada em menos de um ano, pode-se sugerir que a sobrecarga prevista em projeto e necessária para consolidar os recalques primários e secundários pode não ter sido aplicada.

As consequências, entretanto, não devem ser muito maiores que as sentidas pelo usuário da rodovia atualmente, uma vez que os aterros não romperam quando de sua liberação ao tráfego, seria pouco provável que três anos após o início de sua utilização houvesse carga com magnitude suficiente para provocar a ruptura da área já adensada para o tráfego atual.

O que se pode inferir, entretanto, é que se a tendência do fluxo de veículos é aumentar, a tendência destes aterros é continuar sofrendo recalque. De forma pouco econômica mas necessária, as superposições de camadas asfálticas devem amenizar a possibilidade de danos.

Outrossim, foram registrados pela PRF – Polícia Rodoviária Federal, desde 2013, naquela região dos aterros 2B e 3, apenas 16 acidentes que podem estar relacionados aos recalques do pavimento nos encontros da Ponte sobre o Canal Goiana, e nenhum deles com vítimas fatais, embora totalizem 4 feridos.

Outra ação que poderia amenizar os recalques com mais eficiência seria a correção das bacias de deformação em lugar da simples deposição de CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado à Quente, pois proporcionaria longevidade maior da solução, minimizando os desníveis consideravelmente além de diminuir as chances de escorregamento das camadas asfálticas.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009) *Estabilidade de Encostas NBR 11682*.
- Avesani Neto, J.O. (2008) *Caracterização do comportamento geotécnico do EPS através de ensaios mecânicos e hidráulicos*. Dissertação de mestrado da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 227 p.
- Geoprojetos Engenharia Ltda. (2012) *Projeto Executivo Aterros 2B e 3 do lote 6 com utilização de EPS*.
- Maia Melo Engenharia Ltda. (2004) *Projeto Executivo Para Adequação de Capacidade da Rodovia Br-101/PE (Corredor Nordeste)*.

Maia Melo Engenharia Ltda. (2010) *Estudo de alternativas para estabilização do aterro 2B*.
PINTO, C.S. *Curso básico de mecânica dos solos*. Ed. Oficina de textos, São Paulo, 2000.
183p.