

Soft Soil Brazilian Review

SOFT
SOIL
SCIENCE

iBSM

EDIÇÃO AMÉRICA LATINA
MAIO - JUNHO - 2026



Os perigos da incompatibilidade deformacional na ampliação rodoviária.

A geotecnia da transição do
aterro antigo com o novo
não está sendo respeitada.



3 OS PERIGOS DA INCOMPATIBILIDADE DEFORMACIONAL NA AMPLIAÇÃO RODOVIÁRIA. A GEOTECNIA DA TRANSIÇÃO DO ATERRO ANTIGO COM O NOVO NÃO ESTÁ SENDO RESPEITADA.

20 CONHECENDO AS PARTICULARIDADES DA DEFORMAÇÃO DO SUBLEITO EM OBRAS DE AMPLIAÇÃO RODOVIÁRIA.

30 - CONSULTA

O CORTE DO TALUDE E AS CONSEQUÊNCIAS EM OBRAS DE AMPLIAÇÃO RODOVIÁRIA.

34 PROJETANDO UMA AMPLIAÇÃO DE RODOVIA, SEM PROBLEMAS.

EDITORIAL

A engenharia rodoviária brasileira continua avançando em escala, mas ainda repete erros conceituais básicos, quando o assunto é ampliação de rodovias sobre solos moles. Esta edição da Soft Soil Brazilian Review traz uma reflexão direta: não estamos falhando por falta de tecnologia, mas por descuidos no entendimento geotécnico do problema. Ampliar uma rodovia não é simplesmente adicionar uma nova faixa e, sim, integrar dois sistemas com histórias completamente distintas: o aterro antigo, já consolidado, rígido e com deformações praticamente esgotadas, e um novo aterro, jovem, deformável e apoiado sobre um solo ainda em processo de acomodação. Ignorar essa diferença é a origem de praticamente todas as patologias observadas em campo. Os problemas são conhecidos, trincas longitudinais, recalques diferenciais, instabilidade de taludes, e continuam sendo tratados, em grande parte, como manifestações superficiais. Reforços estruturais, geossintéticos e ajustes no pavimento atuam, em geral, sobre o efeito, não sobre a causa. Como consequência, as patologias retornam. Os estudos apresentados nesta

edição reforçam um ponto essencial: o problema central da ampliação rodoviária não é resistência, é deformação. A incompatibilidade de rigidez entre o trecho existente e o novo aterro gera um sistema desequilibrado, onde tensões e deslocamentos se redistribuem de forma inevitável. Mais do que nunca, torna-se necessário mudar o paradigma de projeto. Não se trata apenas de dimensionar estruturas, mas de reconfigurar o comportamento do maciço como um todo, elevando sua rigidez, controlando sua deformabilidade e eliminando a descontinuidade entre os sistemas. A geotecnia precisa deixar de tratar o solo como um elemento passivo e passar a encará-lo como parte ativa da solução. Sem isso, ampliações continuarão sendo obras com alto custo de manutenção, desempenho reduzido e vida útil comprometida. Esta edição é, portanto, um convite à revisão de conceitos. Não basta ampliar, é preciso entender, integrar e transformar o solo de fundação. É aí que está a verdadeira engenharia.

Boa Leitura.

SEÇÕES



OS PERIGOS DA INCOMPATIBILIDADE DEFORMACIONAL NA AMPLIAÇÃO RODOVIÁRIA.

A GEOTECNIA DA TRANSIÇÃO DO ATERRO ANTIGO COM O NOVO NÃO ESTÁ SENDO RESPEITADA.

Fig 1 - Melhoramento do solo de fundação, para construção de trecho de rodovia que levará 15m de aterro sobre solo mole, no interior de Minas Gerais.

Ampliar rodovias melhora a capacidade de tráfego e sua segurança, no entanto, existem diversos aspectos específicos que continuam sendo ignorados, acarretando diversos problemas, como a criação de “juntas” de construção (trincas de reflexão) entre os pavimentos novo e antigo, recalques diferenciais e complicações com a estabilidade. Todos estes problemas estão sendo reparados com melhoramento/ readequação do solo na interface novo/ antigo e sob o novo aterro, com geoenrijecimento, o que aumenta o custo da construção. Ampliação rodoviária é, essencialmente, integrar geotécnicamente a antiga pista com a nova, analisando-se o recalque diferencial entre pistas, a estabilidade global do aterro existente e o novo, avaliando-se o carregamento adicional e a influência no talude existente. Com este cenário, surgem os principais problemas, ou seja, duplicar sem melhorar/ readequar o solo mole existente, gera recalque diferencial entre

TRINCAS DE REFLEXÃO

Ocorrem quando juntas ou deformações, do aterro/ pavimento existente, propagam-se para o novo pavimento após a ampliação da via. Trata-se de um fenômeno comum em obras de duplicação rodoviária, especialmente quando há diferença de comportamento entre o trecho antigo e o novo. Para atenuar este problema, utiliza-se técnicas de controle a base de geogrelhas, geotêxteis, membranas absorvedoras de tensões, aumento da espessura do pavimento e selagem prévia das trincas. Estas soluções atuam como camadas intermediárias, objetivando dissipar tensões e retardar a propagação das fissuras, no entanto, atuam essencialmente no sistema do pavimento, tratando o efeito e não a origem do problema. Quando há presença de solos moles ou recalques diferenciais, a trinca de reflexão tende a reaparecer, pois a deformabilidade do subleito permanece inalterada. Assim, em condições geotécnicas desfavoráveis, o controle efetivo das trincas exige o melhoramento do solo de fundação, elevando sua rigidez e resistência, de modo a eliminar a causa primária das deformações, garantindo a integridade da estrutura ao longo do tempo.

a pista antiga e a nova. É interessante observar que não há norma nacional que informe “como melhorar solo mole em ampliação rodoviária” ou “que método ou técnica utilizar, CPR

Mixing, Jet Grouting, ancoragens ou estaqueamento? Em nossa realidade, fica a cargo da experiência ou conhecimento do projetista geotécnico cinco questões importantes, a geometria DNIT, a capacidade suporte do subleito

to/ solo de fundação, a estabilidade e o processo de recalque. Outros aspectos importantes, a serem considerados em ampliações rodoviárias, é a complexidade do projeto de drenagem que deve funcionar continuamente na parte ampliada e na existente da rodovia e, também, funcionar durante a obra de duplicação. Com relação as técnicas a serem utilizadas, para preparar o solo de fundação, havendo presença de solo mole, o projetista precisa entender que com solo mole, o problema não é resistência e sim deformação, o que muda tudo. O solo tem baixa rigidez (E), baixa resistência não drenada, (Su), e altíssimo potencial de recalque logo, o problema real é a deformação excessiva (recalque e instabilidade). Desta forma, fica fácil classificar uma solução para a ampliação rodoviária, já que a trivialidade apenas contorna o problema, ou seja, vão de encontro aos efeitos e não à causa, sendo essencialmente recursos estruturais ou quase, com base em transferência das futuras cargas para camadas profundas resistentes, ignorando o solo mole. São elas:

- Coluna de brita
- Deep soil mixing
- Jet grouting
- Estaqueamento
- Ancoragens

Não faz parte desta matéria dissertar sobre cada uma destas técnicas. Do ponto de vista prático há, preliminarmente, quatro opções de desenho para ampliar rodovias, a seguir apresentadas. O método de ampliação definitivo dependerá das características da rodovia existente. A figura, acima, mostra um procedimento clássico de ampliação de rodovias com integração entre o pavimento existente e o novo aterro/pavimento. *Os pontos principais do esquema são os seguintes, de acordo com os números da figura:*

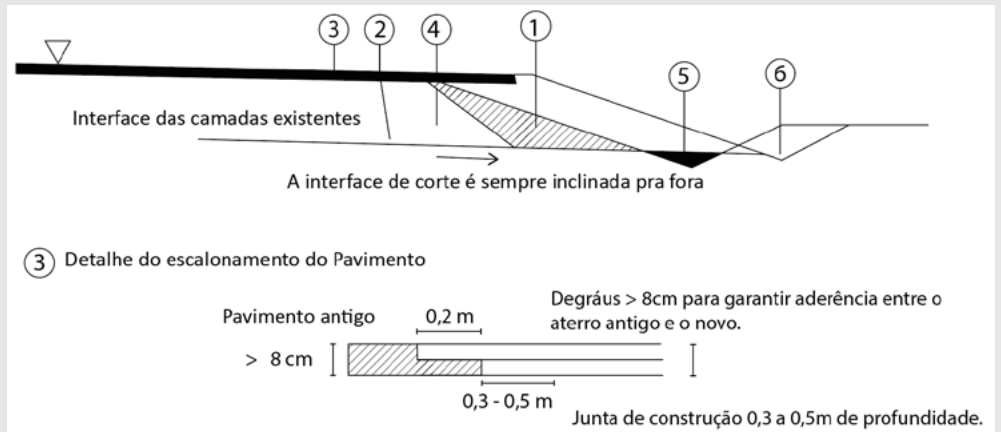


Figura 2 – Desenho de uma ampliação rodoviária e os processos rotineiros.

1. Interface entre aterro novo e pavimento existente

O desenho mostra que a interface de corte é inclinada. Os objetivos geotécnicos são evitar uma superfície vertical de descontinuidade, melhorar o travamento mecânico entre o aterro novo e o existente e reduzir a formação de trincas longitudinais no pavimento. Em ampliações rodoviárias, uma junta vertical entre aterro antigo e novo é extremamente crítica, porque o aterro antigo já está consolidado e o aterro novo ainda vai recalcar. Por isso o corte é inclinado, com degraus, cria uma zona de transição mais estável.

2. Escalonamento do talude

A figura indica o escalonamento da estrutura existente, significando escavar o talude do aterro antigo em degraus, lançando o novo aterro sobre eles. Os principais motivos são evitar escorregamento da interface, transferir tensões de cisalhamento e garantir continuidade estrutural do aterro. Sem este procedimento é comum ocorrer trinca longitudinal no pavimento, abatimento lateral do acostamento e ruptura local da ampliação.

3. Corte no pavimento existente

O detalhe mostra o corte de 0,3 a 0,5 m sobre o pavimento asfáltico existente, e a formação da junta de construção, objetivando evitar junta fria reta, permitindo sobreposição estrutural das camadas do pavimento, o que melhora a transferência de carga, a durabilidade do revestimento e o controle de fissuras longitudinais.

4. Construção da nova estrutura de pavimento

O número 4 da figura indica a construção de novas camadas utilizando-se materiais similares aos da estrutura existente, o que é importante para evitar diferenças de rigidez estrutural, concentração de deformações e trincas reflexivas. Na prática, quando o módulo das camadas é muito diferente, surge uma zona de flexão diferencial no eixo da ampliação.


5. Tratamento da vala antiga

O esquema orienta preencher a vala com material compactável, seco e com granulometria semelhante ao do subleito, evitando zona compressível, concentração de água e recalques localizados.

SOLOTEST®

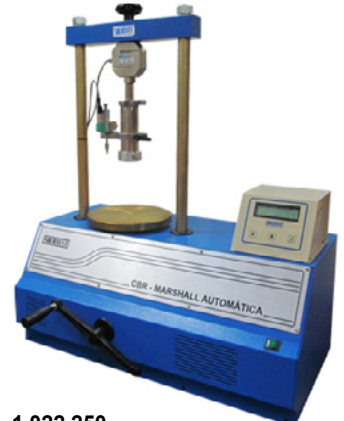
A solotest equipa os melhores laboratórios de solos, concreto e misturas asfálticas da América Latina, com equipamentos próprios e de seus parceiros internacionais.



 1.014.250 - Extrator Shelby de Bancada



 1.055.001 - Prensa de Adensamento



 1.022.250 - Prensa CBR / Marshall Digital Microprocessada



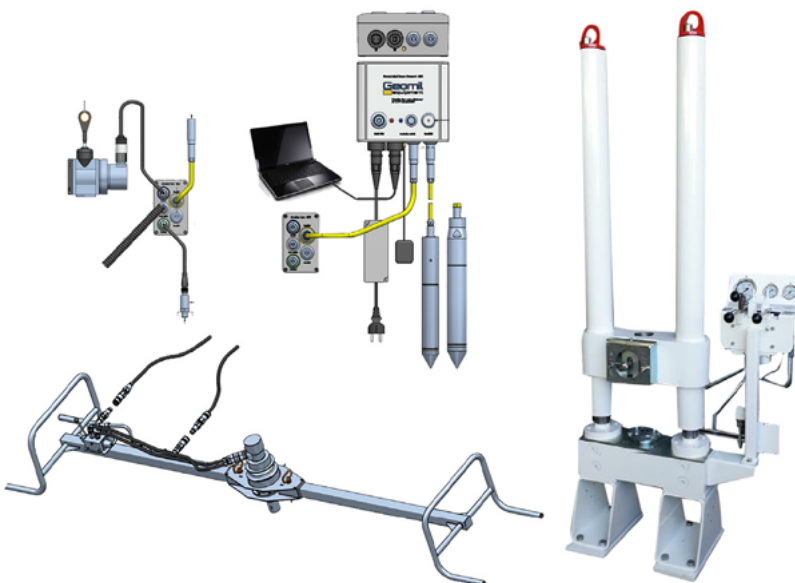
 4.100.030 - Medidor de Densidade de Solo Não Nuclear (SDG)




 4.100.300 - LWD "Light Weight Deflectometer"



 4.100.035 - Penetrômetro Dinâmico Eletrônico para Solos Panda



 4.688.020 - Sistema hidráulico para realização de ensaio CPT em diversos tipos de Solos

6. Novo sistema de drenagem

O item final mostra abertura de nova vala de drenagem, o que é crítico porque em uma ampliação rodoviária, o sistema antigo frequentemente fica mal posicionado e a drenagem inadequada gera saturação do aterro novo. Com a presença de solos moles, pode conduzir à redução da resistência e a deformação lateral do aterro.

Estes detalhes resolvem problemas estruturais do pavimento, mas não resolvem problemas de solo mole. Se a fundação for compressível, ainda podem ocorrer recalques diferenciais entre a faixa antiga e a nova, além de trincas longitudinais permanentes. É exatamente aí que entra a técnica de melhoria do solo, aumentando a resistência e a rigidez do subleito, reduzindo drasticamente a diferença de deformação entre os dois lados da ampliação. Todo este cenário apresentado aplica três princípios fundamentais da ampliação rodoviária, o escalonamento no aterro existente, o intertravamento estrutural do pavimento, a uniformização dos materiais e a drenagem. Estas medidas evitam ruptura da interface e fissuração longitudinal, mas a presença de solos compressíveis precisa ser combinada com seu melhoramento ou readequação com geoenrijecimento. A figura abaixo mostra uma ampliação rodoviária com reforço (figura 3).

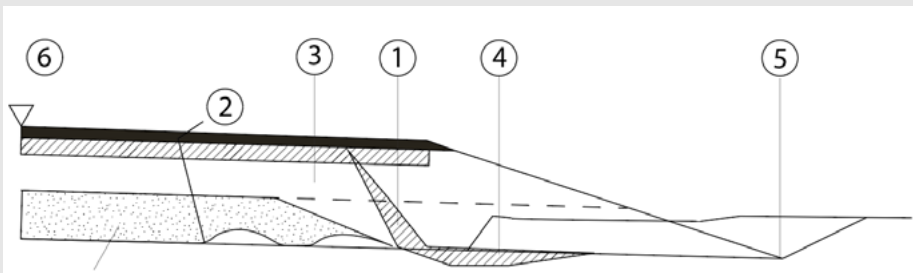


Fig 3 – Desenho de uma ampliação rodoviária com mais recursos.

Este detalhe construtivo, na figura acima, mostra um procedimento clássico de ampliação estradal sobre solo de fundação sensível, cujo objetivo principal é evitar descontinuidade mecânica entre a rodovia antiga e o novo aterro lateral. A interpretação geotécnica é que o problema central, em uma ampliação de rodovia, é que a estrada antiga já está consolidada e rígida, enquanto o novo aterro lateral é recente e deformável. Se apenas encostarmos o novo aterro no antigo, surgirão fissuras longitudinais no pavimento, além de recalques diferenciais, infiltração de água e perda do suporte do subleito. O procedimento mostrado tenta “costurar” mecanicamente as duas estruturas. A explicação, para as etapas da figura, apresentamos a seguir.

1 Escavação do solo suscetível .

Remove-se o solo do talude, que possa sofrer perda de resistência, garantindo que a interface entre o antigo e o novo corpo da estrada seja feito com solo estável.

2 Remoção da antiga estrutura até o subleito natural.

Escava-se parte da estrada antiga até atingir o subleito intacto, que não esteja misturado com camadas do pavimento, objetivando eliminar o material contaminado, garantindo continuidade estrutural entre subleitos. A profundidade deve coincidir aproximadamente com a espessura da antiga estrutura.

3 Construção das novas camadas.

A ampliação é reconstruída com materiais equivalentes ao pavimento existente. A parte inferior pode utilizar material de escavação, desde que tenha comportamento mecânico semelhante.

4 Preenchimento da antiga vala de drenagem.

A antiga vala lateral é preenchida com material compactável, semelhante ao subleito. A importância do controle é que haja porcentagem de finos próxima do subleito ($\pm 5\%$) e, também, suaviza-se a inclinação da vala para 1:4, reduzindo-se concentração de tensões.

5 Escavação de nova drenagem.

Uma nova vala é construída para manter a drenagem longitudinal e a continuidade hidráulica. Sem drenagem adequada, a ampliação falha rapidamente.

6 Eventual estabilização da plataforma.

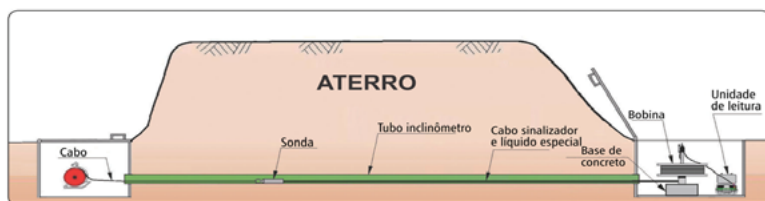
Se necessário, fazer a fresagem parcial do pavimento existente, geralmente a parte mais alta, misturando este material com ligante betuminoso (emulsão ou cimento asfáltico), criando uma nova camada uniforme, objetivando-se eliminar desníveis entre pista antiga e a nova, garantir continuidade estrutural, evitando juntas fracas (trincas/reflexão) e melhorar a capacidade suporte da camada superior, de modo a uniformizar a rigidez ao longo da largura da estrada. Ressalta-se que esta técnica atua apenas na camada estrutural do pavimento, não resolvendo problemas de fundação. Com solo mole, apenas mascara-se o recalque diferencial. A figura 4, a seguir, trata de um procedimento para ampliação estradal, com reforço de sua estrutura existente. Remove-se o material fraco (sensível à umidade) na lateral. Escava-se até a base original estável, evitando mistura com solos moles. Reconstrói-se o pavimento novo com materiais semelhantes ao existente. Preenche-se a

Medidor Portátil do Perfil de Recalques (Perfilômetro)

Este equipamento mede, precisamente, recalques e levantamentos através de aterros, estradas, tanques, etc. O perfilômetro tem sonda conectada com cabo sinalizador e tubo genérico com líquido especial. Quando a sonda passa através do tubo inclinométrico ou qualquer tubo de PVC, analisa a pressão existente, calculando-a como deslocamento vertical.

Aplicações:

- Aterros rodoviários e barragens.
- Reservatórios de água.
- Pontes e viadutos.
- Recalque do solo de fundação.



Instalação do Perfilômetro

Para maiores informações, acesse: <http://softsoilgroup.com.br> ou envie um e-mail para: atendimento@softsoilgroup.com.br

Soft Soil Group



vala antiga com material compactável e ajusta-se a inclinação. Refaz-se a drenagem, garantindo continuidade e eficiência. Opcionalmente, melhora-se o conjunto com aplicação do betume. Portanto, remove-se o material ruim, reconstruindo-se com controle, garantindo drenagem, podendo utilizar material da base (brita, cascalho ou solo granular) e aplicar ligante asfáltico para dar impermeabilidade.

A figura 5, abaixo, mostra a estratégia de amostragem recomendada para uma estrada existente, antes do início da ampliação, o que ajuda a identificar materiais semelhantes para a estrutura ampliada, garantindo que se comporte de maneira similar à estrutura existente. A figura mostra 3 zonas críticas de amostragem:

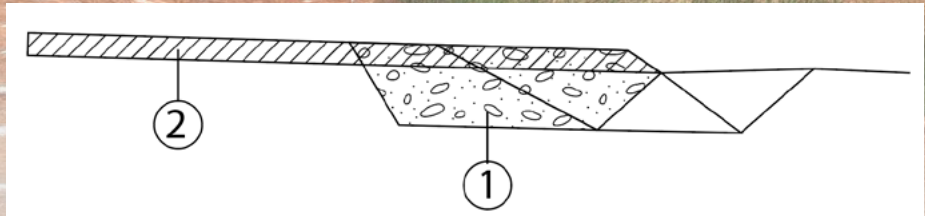


Fig 4 – desenho de uma ampliação em estrada de terra.

A leitura geotécnica do esquema da figura informa que a linha hachurada indica a superfície potencial de deformação ou recalque diferencial, atravessando a interface entre o antigo e o novo. A ampliação cria descontinuidade de rigidez, onde o solo antigo já está consolidado e o novo não. A escavação inferior pode desestabilizar o pé do talude, reduzindo o fator de segurança. A conclusão objetiva é a evidencia de que o problema não está apenas no novo aterro, mas na interação entre pavimento existen-

te, o material de ampliação e o solo de fundação. Sem essa leitura integrada, surgem recalques diferenciais longitudinais, fissuras na interface e instabilidade progressiva do talude. Esse modelo reforça exatamente o ponto central de que soluções triviais tratam apenas o aterro novo, enquanto o comportamento global depende da uniformização do maciço como um todo, algo que métodos como o CPR Grouting atacam diretamente ao modificar o solo de fundação, eliminando essa descontinuidade.

1. Rodovia existente

Amostras, em diferentes camadas do pavimento e subleito são essenciais para entender o estado atual (rigidez, deformabilidade e histórico de carregamento).

2. Material do aterro lateral

Representa o novo material da ampliação, normalmente mais solto e com comportamento distinto. É uma zona de alta suscetibilidade a recalques diferenciais.

3. Solo natural / vala existente

Região frequentemente negligenciada, mas crítica, pois pode conter solos mais compressíveis ou saturados, influenciando diretamente a estabilidade do talude ampliado.

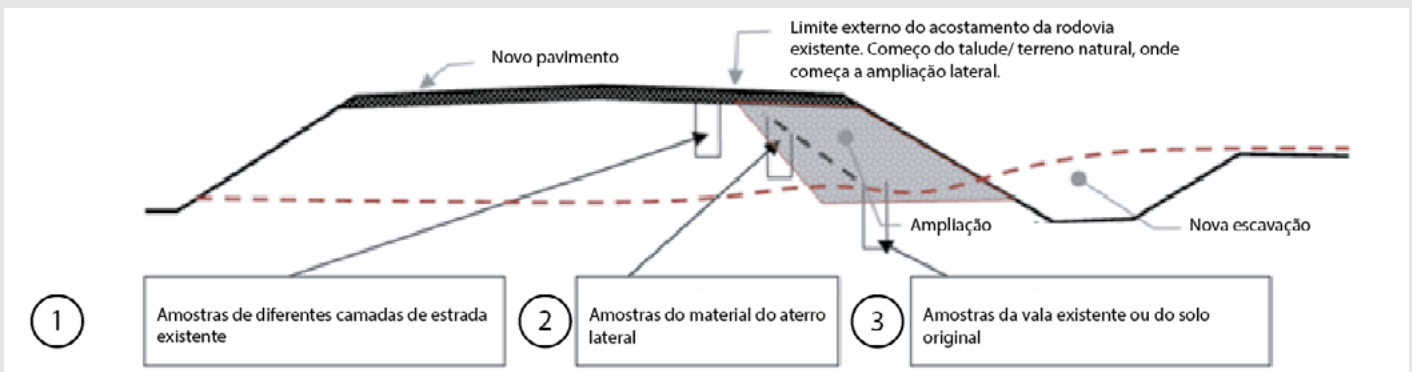


Fig 5 – Evidencia da necessidade de caracterização geotécnica completa e integrada entre o trecho existente e o novo aterro, com três zonas críticas de amostragem.

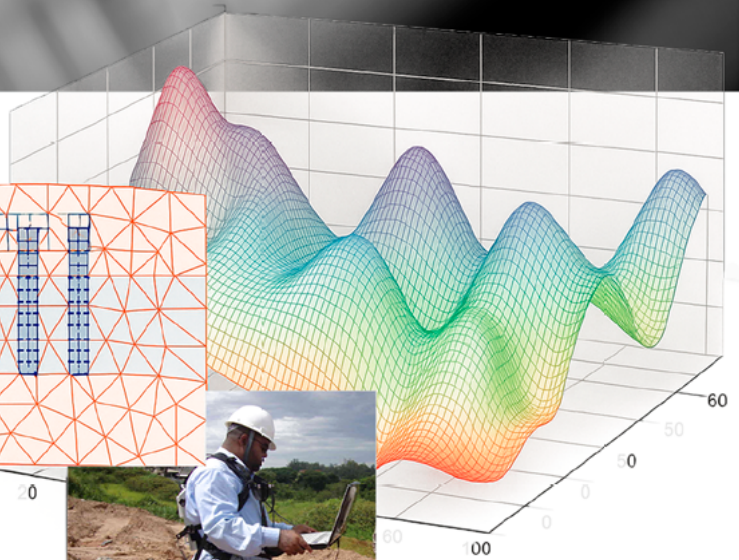
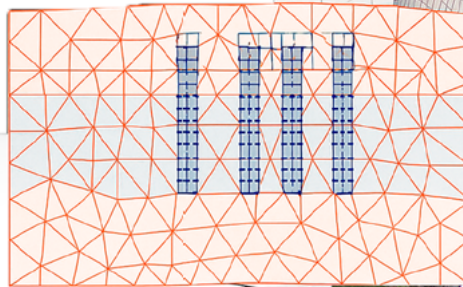
CPR[®]

GROUTING

Melhorar solos moles exige **precisão**

Melhorar solos moles exige precisão e segurança, exige CPR Grouting, a melhor resposta necessária no tempo desejado.

Tudo isto com monitoramento geotécnico específico, através de análises piezométrica, pressiométrica e, principalmente, tomográfica. Ou seja, com a precisão e a segurança de um bom relógio Suíço.



CPR[®]

GROUTING



 geotecnia.engegraut.com.br

 @engegraut_geotecnia

 Engegraut - Engenharia Geotécnica

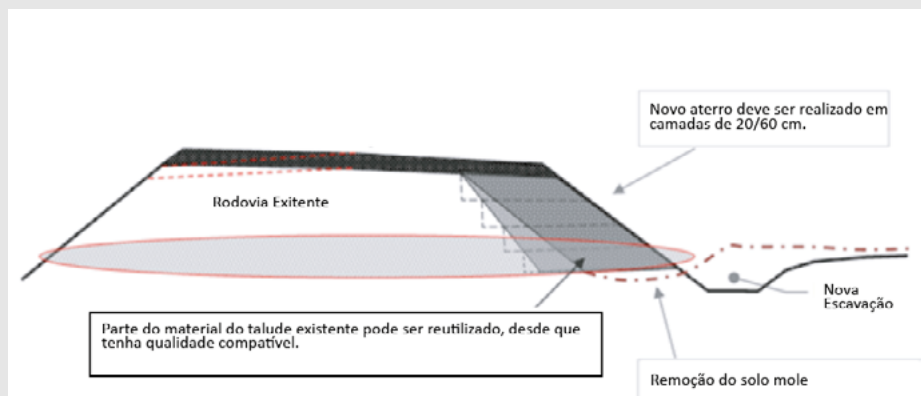


Fig 6 – Esquema típico de ampliação rodoviária com reaproveitamento parcial da estrutura existente e novo aterro lateral.

A figura acima é um esquema típico de ampliação de rodovia com reaproveitamento parcial da estrutura existente e execução de novo aterro lateral, onde temos:

- **A rodovia existente**

Funciona como base principal. O pavimento será reperfilado, com mudança da inclinação transversal, geralmente passando para inclinação unilateral.

- **Ampliação lateral (lado direito da figura)**

Executado com novo material de aterro, compactado em camadas com espessura de 0,2 a 0,6 m.

- **Escavação na base**

Há necessidade de escavar o terreno natural, junto ao pé do talude, para acomodar o novo aterro e garantir apoio adequado.

- **Tratamento do solo superficial**

- Remoção de solo mole existente, especialmente com presença de turfa.
- Em alguns casos, o solo granular pode ser mantido se atuar como filtro natural.

- **Reaproveitamento de material**

Parte do material do talude existente pode ser reutilizado, desde que tenha qualidade geotécnica compatível.

- **Problema crítico (região destacada em vermelho)**

É a zona de transição entre o aterro antigo e o novo, onde ocorre diferença de rigidez, diferença de histórico de tensões (OCR) e potencial de recalque diferencial e fissuração longitudinal.

A leitura geotécnica é que o método é construtivamente simples, porém geotécnicamente vulnerável, pois o novo aterro carrega um solo normalmente mais deformável e a interface antigo × novo tende a concentrar deformações, podendo gerar trincas longitudinais no pavimento, rotação do talude e instabilidade progressiva. Esse tipo de solução, sem readequação do solo de fundação, atua apenas no “efeito” (geometria), e não na causa (solo mole), tornando a readequação do solo a solução que homogeneiza a rigidez do maciço, reduz recalques diferenciais e aumenta a resistência ao cisalhamento na



Localização estratégica e eficiência logística geralmente estão localizadas em terrenos ruins.

O CPR Grouting viabiliza.

Entre em contato, para saber mais detalhes a respeito. www.engegraut.com.br

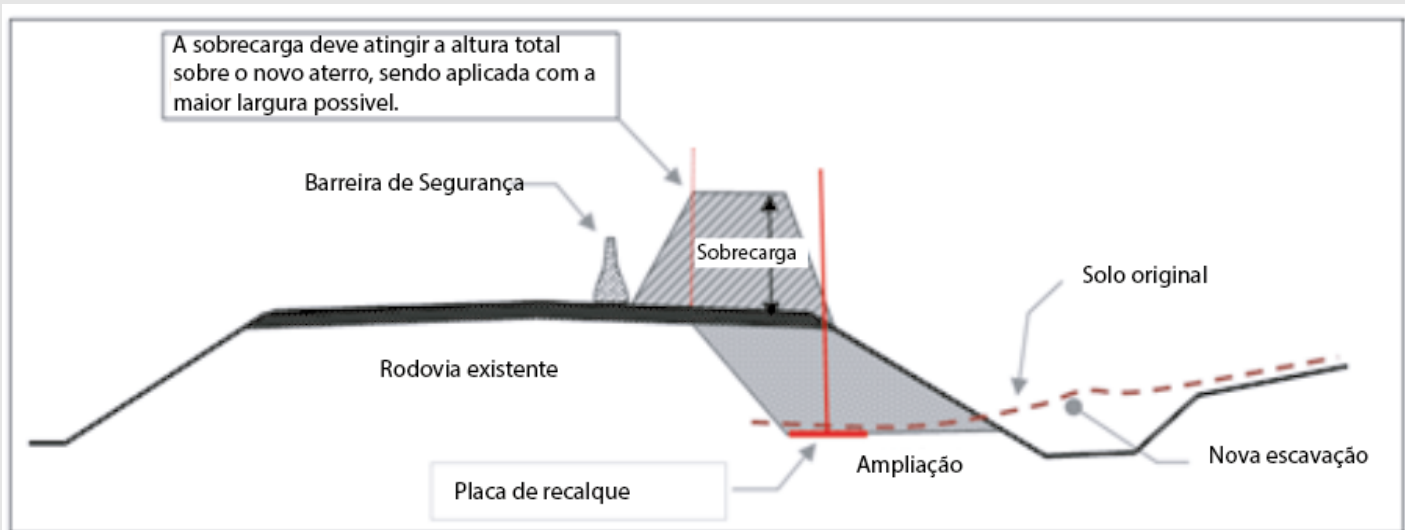


Fig 7 – A perigosa utilização de aterro de sobrecarga em uma ampliação rodoviária.

zona crítica. A figura 7, acima mostra solução com aterro de sobrecarga em uma ampliação estradal de baixo volume, sobre solo compressível. Ao utilizarmos um aterro de sobrecarga, torna-se essencial dimensionar o tempo do recalque analisando-se, previamente, a possibilidade real de rutura. Caso haja, torna-se proibido tal solução. Trata-se de uma solução clássica para reduzir, apenas o recalque futuro, o que torna-se extremamente perigoso, considerando-se a linha de transição crítica entre a rodovia antiga já consolidada e a ampliação a ser realizada. Um método típico de ampliação estradal, consiste em escavar a área a ser duplicada, preenchendo-se com material granular, sobrecarregando a área ampliada com 30 a 50 cm de espessura. Deixa-se assentar por um período, antes de remover a sobrecarga aplicando-se, a seguir, as camadas do pavimento. Após esse período, a estrada é liberada para tráfego por um pequeno período e, em seguida, toda a largura da via é pavimentada. Este método costuma resultar em fissuras ou juntas ao longo do pavimento. Telas de reforço tem sido utilizadas, ocasionalmente, como reforço anti-trincas. Projetos de estradas não devem considerar, apenas, os elementos estruturais e o custo. Dever-se-á levar em conta que o tráfego provavelmente fluirá mais rápido na estrada ampliada e que qualquer inclinação adversa tornar-se perigosa. O projetista deve, acima de tudo, considerar a segurança da estrada ampliada.

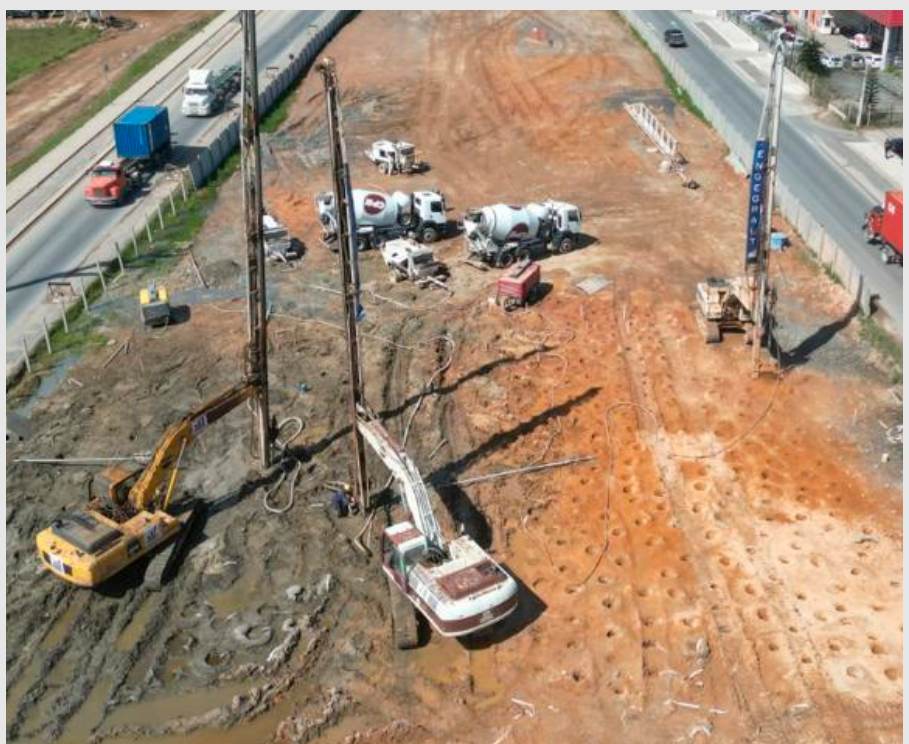


Fig 8 - Melhoramento do solo em uma ampliação rodoviária.

Nas figuras apresentadas abaixo, apresentam-se esquemas de ampliação estradal.

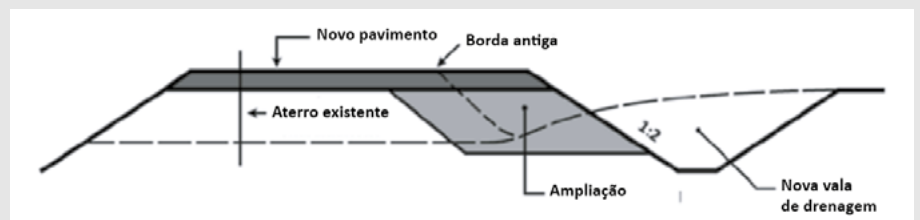


Fig 9 – Exemplo de ampliação rodoviária unilateral, típico em obras sem interferência no eixo existente.

A figura 9, acima, evidencia o aterro existente que permanece como base estrutural principal da rodovia. O novo pavimento é executado lateralmente apoiado parcialmente tanto no aterro antigo como sobre o novo corpo do aterro. A linha da borda marca o limite entre a estrutura nova e a antiga, zona crítica de comportamento diferencial. O aterro de ampliação é realizado com o novo material compactado, formando talude lateral com inclinação aproximada de 1:2, implementando-se uma nova vala de drenagem na base do novo



SENSORES DE RECALQUE



**CÉLULAS DE PRESSÃO
PARA ATERROS**

GEOKON

TRUSTED MEASUREMENTS®

EQUIPAMENTOS GEOTÉCNICOS



**CÉLULAS DE PRESSÃO
CRAYÁVEIS NO TERRENO**



PIEZÔMETROS

**A Geokon é líder mundial em automação e instrumentação
geotécnica para monitoramento de solos**

REPRESENTANTE EXCLUSIVO NO BRASIL

GS ENGENHARIA LTDA

TEL: (41) 3402-1707

GSENGENHARIA.COM.BR



talude, fundamental para evitar saturação do novo aterro. O principal risco geotécnico está na heterogeneidade da rigidez entre o aterro existente (consolidado) e o recente (deformável), o que gera recalque diferencial longitudinal, fissuração no pavimento e até instabilidade no talude. A técnica do melhoramento/readequação do solo, com o CPR Grouting, atua diretamente na raiz do problema, promovendo a uniformização da rigidez e aumento da resistência do solo de fundação, reduzindo/eliminando o risco de deformações diferenciais. Na figura 10, ao lado, a seção mostra a ampliação lateral a partir do acostamento existente. Há escavação parcial do aterro antigo para criar encaixe da nova estrutura. O novo corpo de aterro é executado com material granular e camada de solo com vegetação para proteção superficial. A interface entre antigo e novo recebe reforço com geossintético, com comprimento de ancoragem de 2,0 m. Este reforço atua costurando o novo aterro ao existente, reduzindo risco de deslizamento na interface. O talude original é mantido, mas o novo aterro estabelece um talude mais inclinado e carregado, aumentando a sollicitação no subleito. A base do novo aterro apoia-se sobre o aterro antigo, indicando avanço sobre o terreno natural. Existe preocupação com a vedação e o controle superficial para evitar infiltração. A estabilidade depende fortemente da qualidade do solo de fundação e da eficiência do reforço que, sem melhoramento, há alto risco de recalque diferencial e ruptura na interface antigo/novo. Na figura 11 acima, uma ampliação lateral da pista existente, executado sobre um subleito compressível. O novo aterro é feito com material leve, de modo a reduzir tensões no solo mole. Há uso de geotêxtil na interface inferior, objetivando a separação e controle das deformações. A geogrelha atua como reforço, aumentando a estabilidade global e distribuindo cargas. Na base, aparece uma camada de brita para drenagem e regularização. As inclinações indicadas (1:1,5 / 1:2 / 1:3) mostram a geometria controlada do talude, buscando estabilidade. O sistema evita sobrecarga excessiva no solo mole, reduzindo recalques e risco de ruptura lateral. Esta solução atua principalmente aliviando carga e reforçando superficialmente, mas não melhora o solo em pro-

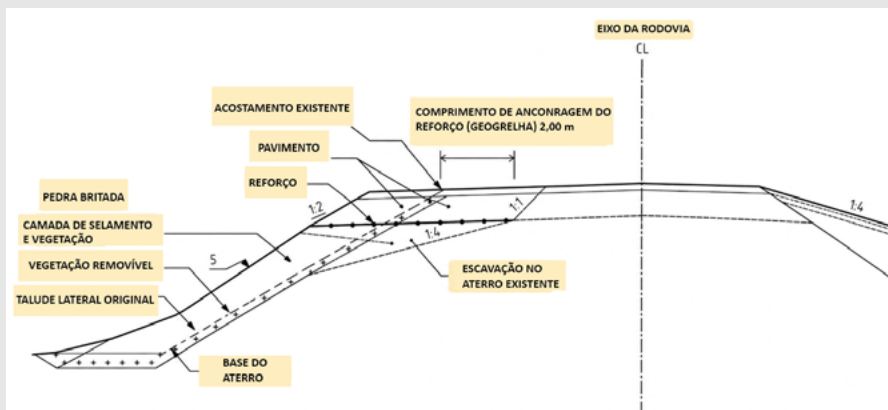


Fig 10 – Esquema típico de ampliação rodoviária sobre talude existente, com reforço estrutural da nova faixa.

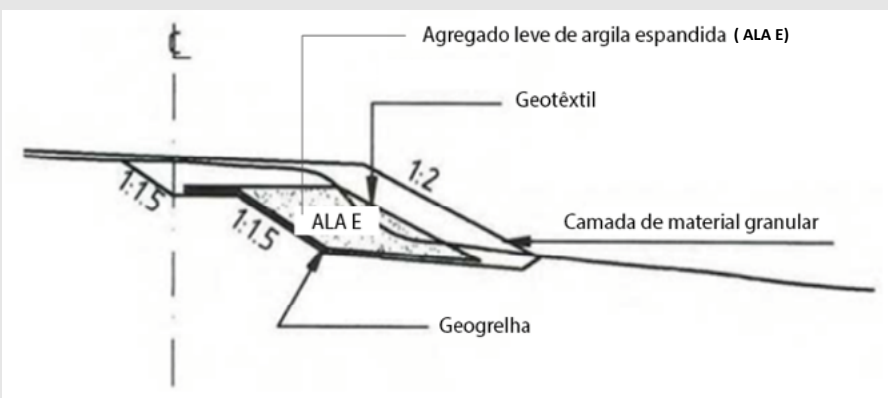


Fig 11 – Ampliação rodoviária com material leve.



Fig 12 – A importância do melhoramento do solo em uma ampliação rodoviária quando há presença de solos moles.

fundidade, permanecendo dependente do comportamento do subleito mole. Apenas o melhoramento do solo atua na causa do problema.

Há recomendações europeias, para ampliação rodoviária, estabelecendo que a junta entre a construção nova e a antiga não deve ficar situada sob a faixa de rodagem e que a junta entre camadas ligadas não deve ficar localizada no mesmo local de outras juntas. Estas diretrizes também recomendam que o pavimento existente seja afastado de 30 cm a 50 cm da junta do aterro. A recomendação é que a junta seja colocada no meio ou perto da linha divisória da faixa, afim de evitar marcas de pneus. Na figura abaixo, um exemplo de duplicação rodoviária, mostrando como deve ser realizada ao lado de um pavimento existente, onde busca-se a continuidade estrutural entre a antiga e a nova pista, com reforço superficial do subleito e atenção à drenagem, mas com limitação à presença de solo mole na fundação. Ou seja, atua parcialmente no efeito, nem sempre resolvendo. O maior problema é a interface entre o pavimento antigo e o novo. A recomendação técnica é remover parte da borda do pavimento antigo (fresagem) para melhor ligação. Melhorar o subleito/ sub base do trecho novo (geoenrijecimento do solo), garantir boa drenagem, deslocar a junta de construção para fora da trilha de roda, podendo-se utilizar geotêxtil para reduzir fissuras. O problema crítico é a tendên-



Fig 13 – Rutura em um ampliação estradal onde não foi respeitado a presença de camadas de solo mole.

cia à fissuração por reflexão na junta entre o antigo e o novo pavimento. O objetivo é garantir a continuidade estrutural e evitar recalques diferenciais e trincas no ponto de ligação. De um modo geral, aceita-se que não é economicamente viável ampliar uma rodovia sem resolver seus problemas existentes. Estudos da administração rodoviária europeia, demonstram que o uso de geossintéticos em ampliação rodoviária, sobre solos moles, apresenta eficiência bem limitada, sobre-

tudo quando o subleito é constituído por argilas moles sem camada superficial resistente. Nesta condição, a ampliação, com seu novo aterro, impõe um incremento significativo de tensões laterais, induzindo o escoamento do solo mole e promovendo deformações horizontais e recalques diferenciais. O sistema passa a se comportar como um talude em condição mais crítica, não por alteração geométrica, mas pelo aumento das solicitações atuantes.

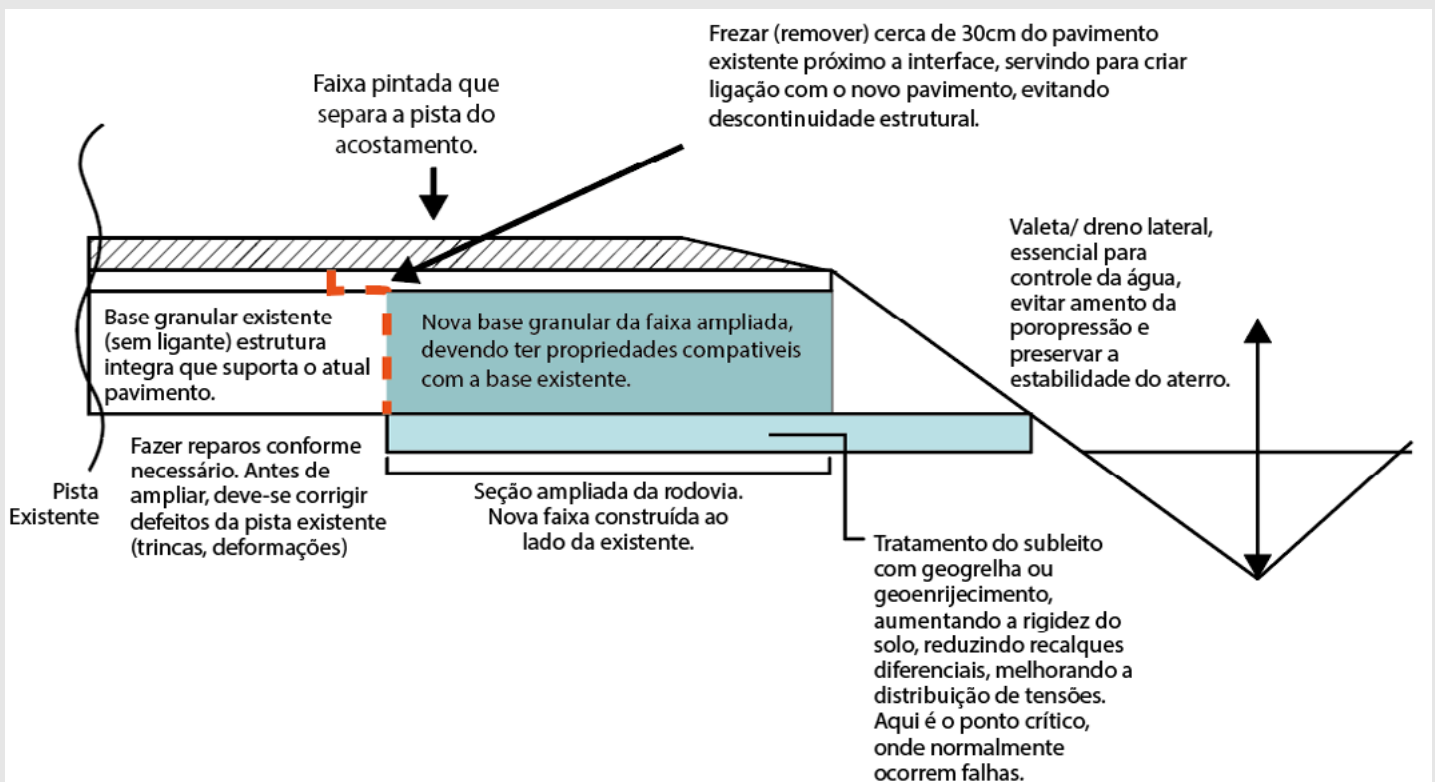


Fig 14 – Recomendação de ampliação rodoviária.

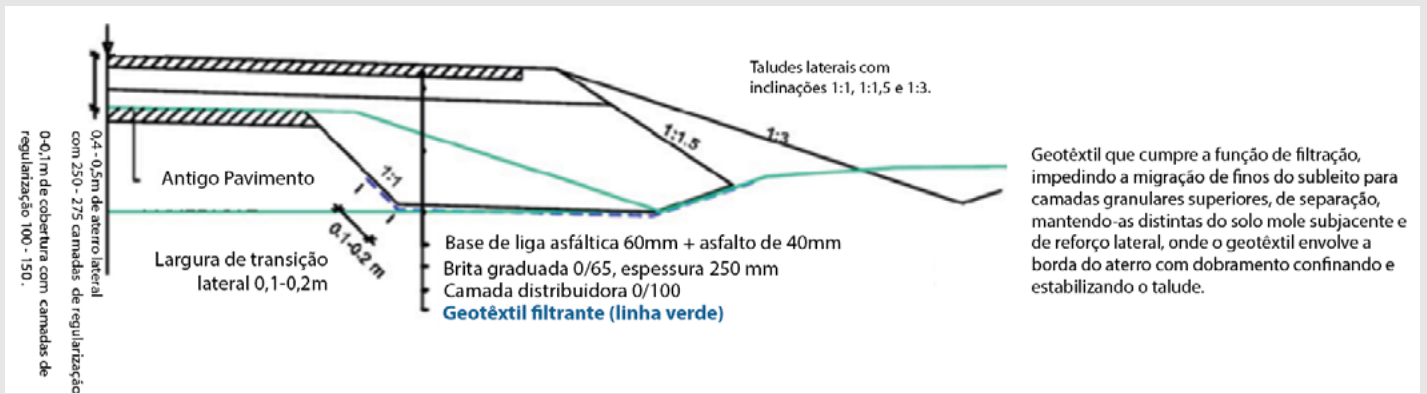


Fig 15 - Estrutura de referência.

O reforço com geossintéticos atua apenas como elemento tracionado, capaz de reduzir parcialmente os deslocamentos laterais (da ordem de 20 a 30%), sem, contudo, promover qualquer melhoria nas propriedades geotécnicas do solo de fundação. Os estudos ressaltam que, em situações

com diferenças geométricas entre o aterro existente e a duplicação, ou na ausência de uma camada superficial rígida, o reforço não é capaz de conter recalques diferenciais nem deformações não uniformes, evidenciando sua limitação estrutural. Desta forma, o reforço com geossintéticos atua so-

bre os efeitos das deformações, mas não sobre sua causa. Em solos moles, onde o problema é a baixa resistência e elevada compressibilidade do subleito, sua aplicação isolada tende a apresentar desempenho insuficiente em obras de ampliação rodoviária.

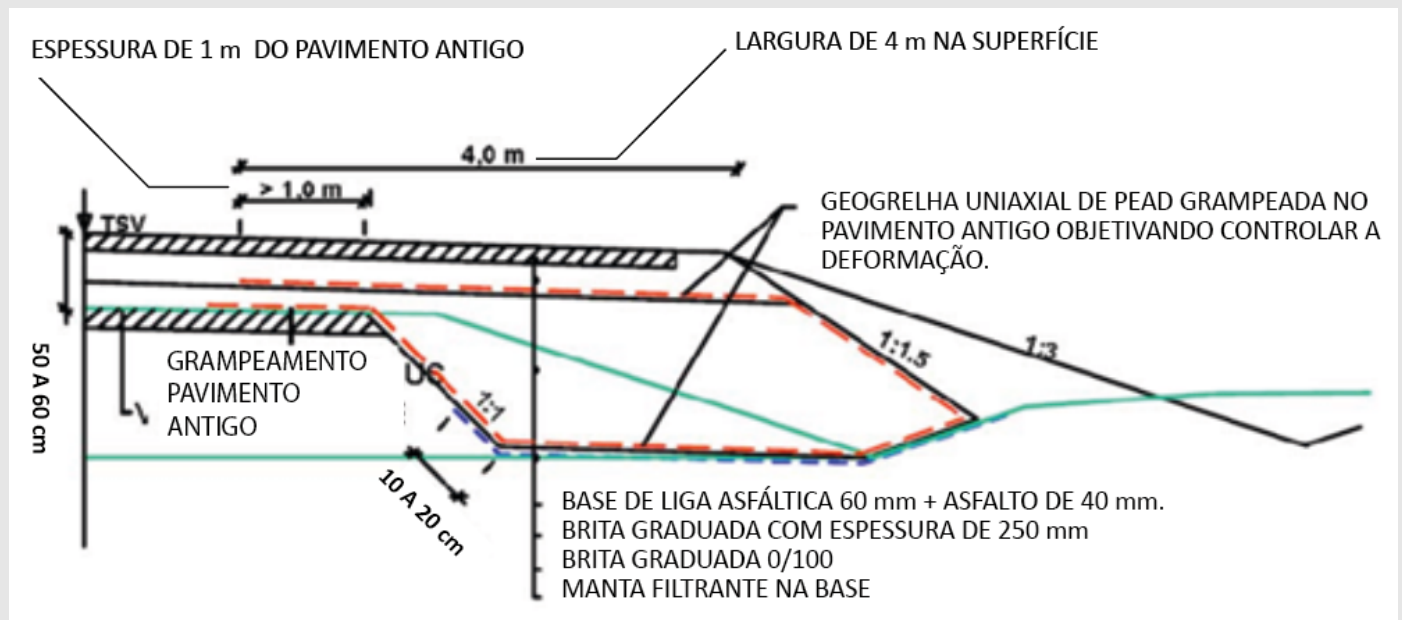



Fig 16 - Seção transversal de reforço do pavimento com geogrelha, atuando como estrutura separadora, baseada na administração rodoviária européia. A geogrelha atua aqui não como reforço de capacidade de carga, e sim como separador estrutural, impedindo a migração de finos da sub-base para a base granular, confinando a lateral às camadas agregadas na zona de transição entre o antigo pavimento e a ampliação nova.



PIEZÔMETRO AUTOCRAVÁVEL (PWP)

A série PWP de piezômetros de corda vibrante (autocraváveis) foi projetada para medir, com precisão, a poropressão em depósitos de solos moles. Suas características são:

- **ROBUSTEZ**
- **PRECISÃO**
- **CONFIABILIDADE**

Representante exclusivo no Brasil: **3GEO TECNOLOGIA LTDA**
 +55 21 2718 3968 / vendas@3geotecnologia.com / www.3geotecnologia.com



solotest.com.br



**GERAL
& LABORATÓRIO**

Na figura ao lado, apresenta-se uma seção transversal de uma ampliação rodoviária para um aterro existente, com geogrelha entre camadas de pavimento betuminoso. Nota-se que o pavimento antigo não foi removido durante a ampliação rodoviária. Como resultado, há duas camadas de pista betuminosa na estrutura do pavimento após a ampliação. Trata-se de uma solução extremamente problemática em qualquer obra de ampliação rodoviária sobre solo mole, exatamente por que o aterro antigo já passou pelo processo de consolidação primária (e de parte da secundária) o longo dos anos. O solo de fundação, está sobreconsolidado. O novo aterro, ao ser lançado lateralmente, impõe carga nova sobre um solo despreparado, com menor rigidez nessa região marginal, (camada mole mais espessa afastando do eixo). O resultado é que o novo aterro recalca mais rápido que o antigo, gerando diferença de nível na superfície, com distorção angular. Desta forma, a geogrelha não elimina o recalque diferencial, mas limita a distorção na superfície de rolamento, funcionando como uma peça flexível contínua, que distribui o desnível ao longo de um comprometimento maior, reduzindo o gradiente de recalque percebido pelo pavimento. Para atenuar apenas as consequências, a geogrelha é colocada nas camadas betuminosas superiores (10 a 20 cm de profundidade), justamente onde a distorção se manifestaria como trinca longitudinal na junção antigo/ novo, onde ocorre o dano mais típico.

A origem das patologias na ampliação rodoviária.

Estudos desenvolvidos pela Universidade de Tongji (China) demonstram que os principais problemas em obras de ampliação rodoviária não estão associados ao pavimento em si, mas à incompatibilidade deformacional entre o aterro existente e o novo

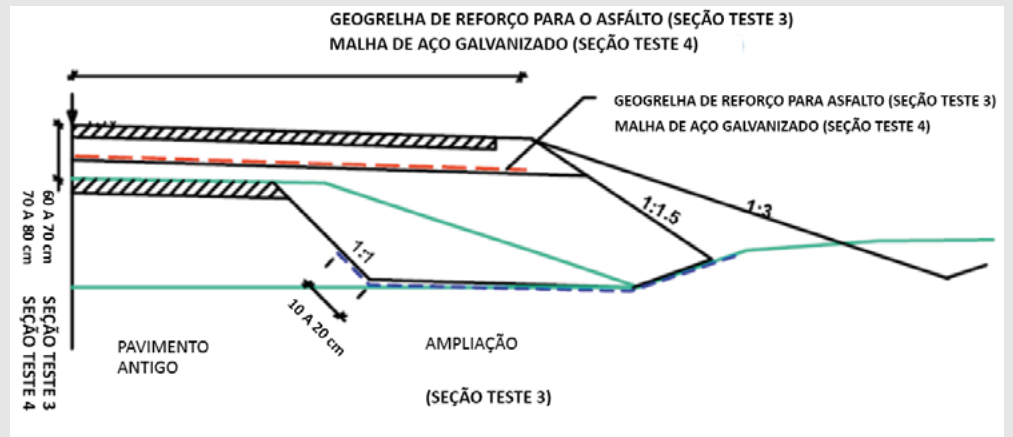


Fig 17 - Seção transversal de uma ampliação, com duas modalidades de teste. Uma com geogrelha para asfalto e outra com malha de aço galvanizado, estabelecendo camadas de 60 e 70 cm. O aterro existente é ampliado lateralmente. As inclinações do talude variam entre 1:1, 1:1,5 e 1:3, indicando que suaviza conforme desce. A interface entre o aterro antigo e o novo apresenta uma transição de 10 a 20 cm. A geogrelha é posicionada na interface entre a base e a sub-base, exatamente na região de descontinuidade entre o aterro existente e a ampliação, considerada zona crítica devido ao recalque diferencial.

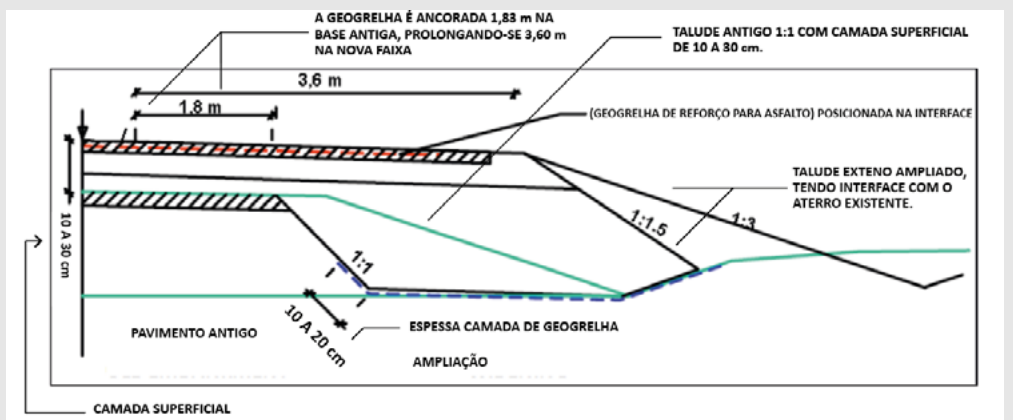


Fig 18 - Geogrelha entre as camadas do pavimento betuminoso.

aterro executado. O maciço antigo, já pré-adensado ($OCR > 1$), apresenta maior rigidez e menor deformabilidade, enquanto o novo aterro é apoiado sobre solo ainda virgem ($OCR \approx 1$), altamente compressível. Essa diferença gera recalques diferenciais, responsáveis pela indução de tensões de tração e flexão no pavimento. Como consequência, observam-se três mecanismos principais de ruptura:

- fissuração por cisalhamento na interface (deslizamento);
- trincas ascendentes (baixo para cima)
- trincas descendentes (de cima para baixo).

Esta manifestação é progressiva e inevitável quando não há intervenção no subsolo, levando à perda de desempenho estrutural da via. A ampliação rodoviária, quando executada sem o devido melhoramento do solo de fundação, tende a desenvolver patologias recorrentes, independentemente da solução adotada no pavimento. A única forma eficaz de mitigar esses problemas é a homogeneização do comportamento geomecânico do subleito, eliminando a deformação diferencial entre as faixas antiga e nova.

Ampliar rodovias não é reforçar e sim reequilibrar o solo.

O estudo conduzido pelas Universidades do Kansas e de Istambul traz uma constatação direta e incômoda para a engenharia rodoviária. O problema da ampliação de aterros



Fig 19 - Melhoria do solo de fundação para receber 11m de aterro, necessário a construção de rodovia federal, BR - 265, em Passos de Minas, MG.

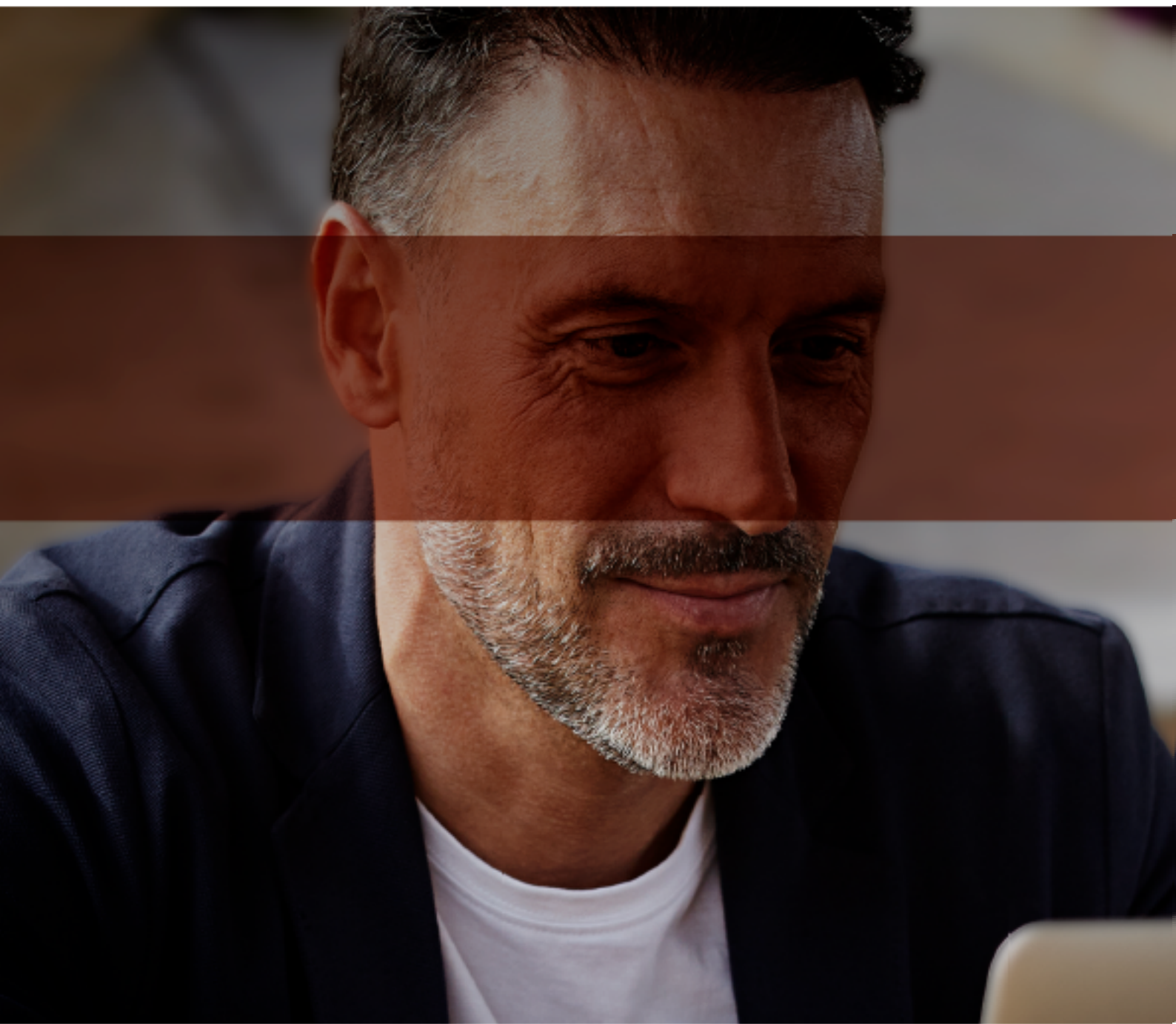
sobre solos moles não está apenas na capacidade suporte, mas na incompatibilidade de deformações entre o trecho existente e o novo. As análises mostram que ao tratar trivialmente a ampliação com estacas, colunas ou tirantes, o sistema não se estabiliza, apenas muda de lugar. Os deslocamentos migram, as tensões se redistribuem e o aterro existente passa a sofrer novas solicitações, muitas vezes mais críticas do que antes da intervenção. Esta é a limitação central das soluções tradicionais, pois atuam de forma localizada, enquanto o comportamento do solo é global. O próprio estu-

do europeu indica que o melhor desempenho ocorre quando se intervém também na região de transição, buscando reduzir o gradiente transversal e uniformizar as deformações. Ainda assim, permanece implícita a lacuna de que o solo continua sendo tratado como um meio passivo, e não como um elemento a ser transformado. É neste ponto que a geotecnia precisa evoluir. Ampliar uma rodovia, sobre solo mole, não é simplesmente “adicionar estrutura” ao sistema existente. É necessário reconfigurar o estado tensional e deformacional

do maciço como um todo, elevando sua rigidez, resistência e capacidade de resposta. Quando não é realizado, o resultado são trincas longitudinais, recalques diferenciais e perda progressiva de desempenho, problemas que não surgem por falha de dimensionamento, mas por inadequação conceitual da solução adotada. A ampliação segura de aterros exige mais do que reforço, necessita entendimento do solo como sistema contínuo e deformável e, sobretudo, exige soluções que não apenas suportem cargas, mas que restabeleçam o equilíbrio do conjunto.

REFERÊNCIAS

- Joaquim Rodrigues é engenheiro geotécnico M.Sc. Formado no Rio de Janeiro em 1977 e pós-graduado pela COPPE na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Diretor do Instituto Brasileiro do Solo Mole e da Engenheira Geotecnia e Engenharia, associada à ABMS e ao American Society of Civil Engineers desde 1994. Desenvolveu duas técnicas de melhoria de solos moles, sendo motivo de patente o GEOENRIJECIMENTO, utilizada hoje em todo o Brasil.
- California Department of Transportation (2009). Highway Design Manual.
- Forsman, J (2001). Geo-reinforcement-project, final report of test structures 1996...2001. Finnish Road Administration. Finnra Reports 75/2001. (In Finnish)
- Alkio, R., Pihlajamäki J. (2001). VT 4 Leivonmäki. Kohderaportti VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka. TPPT 34.
- Sandberg, J., Björnfot, P. (2004). Sprickfri och bärig väg med Stålarmering. Swedish Road Administration.
- Said S., Sundberg, S., Johansson, S., Jansson, H., Svensson, J. (2003) Stålarmering av Väg 600, Sundom. VTI notat 30-2003, Vägverket.
- Uotinen, V. (1996) Geosynthetic reinforcement in the widening of a road embankment on soft ground.
- Deschamps, R., Hynes, C., Bourdeau, P. (1999). Embankment widening design guidelines and construction procedures. Report FHWA/INT/JTRP-99/4, Joint Transportation Research Program.
- Ling, J., Qian, J., Huang, Q. (2007) Failure Mechanism and Design Criterion for Low-Volume Roads Subgrade Widening. Transportation Research Record, Low-Volume Roads 2007. Volume 2.
- Huang, X., Wang, H. (2009) Comparison between responses of reinforced and unreinforced embankments due to road widening. Southeast University, Nanjing, China, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Han, J., Oztoprak, S., Parsons, R. L., Huang, J. (2007). Numerical analysis of foundation columns to support widening of embankments. The University of Kansas, Istanbul University.
- Estakhri, C. K., Freeman T. J., Spiegelman, C. H. 2001 Density evaluation of the longitudinal construction joint of hot-mix asphalt pavements. Texas Department of Transportation.
- Hilbrich, S., Scullion, T. 2007 Design considerations for flexible pavement widening. Texas Transportation Institute.
- Pavement Interactive. Longitudinal Joint Construction [WWW]. [referred 27.8.2010] Available: http://pavementinteractive.org/index.php?title=Longitudinal_Joint_Construction.
- Samuli Tikkanen. ROAD WIDENING - Literature review and questionnaire responses . ROAD EX.



- :: NOTÍCIAS EM TEMPO REAL;**
- :: ANÁLISES EM PROFUNDIDADES;**
- :: CONSENSO DE OPINIÕES SOBRE SOLUÇÕES;**
- :: GRÁFICOS E FERRAMENTAS ANALÍTICAS**

Os principais dados e informações, antes disponíveis apenas por especialistas, agora estão abertos pra você também tomar as melhores decisões na hora de projetar e fazer negócios. Em um só lugar, um serviço completo com a chancela da instituição especialista em melhoramento de Solos moles, com quase 50 anos de experiência.

CHEGOU SUA
VEZ DE TER

VISÃO

MAIS PROFISSIONAL
DA GEOTECNIA
DO SOLO MOLE.



iBSM INSTITUTO
BRASILEIRO
DO SOLO MOLE

ACESSE SOFTSOILBRAZILIANGROUP.COM E ESCOLHA
A EDIÇÃO IDEAL PARA SUA PESQUISA.



CONHECENDO AS PARTICULARIDADES DA DEFORMAÇÃO DO SUBLEITO EM OBRAS DE AMPLIAÇÃO RODOVIÁRIA.

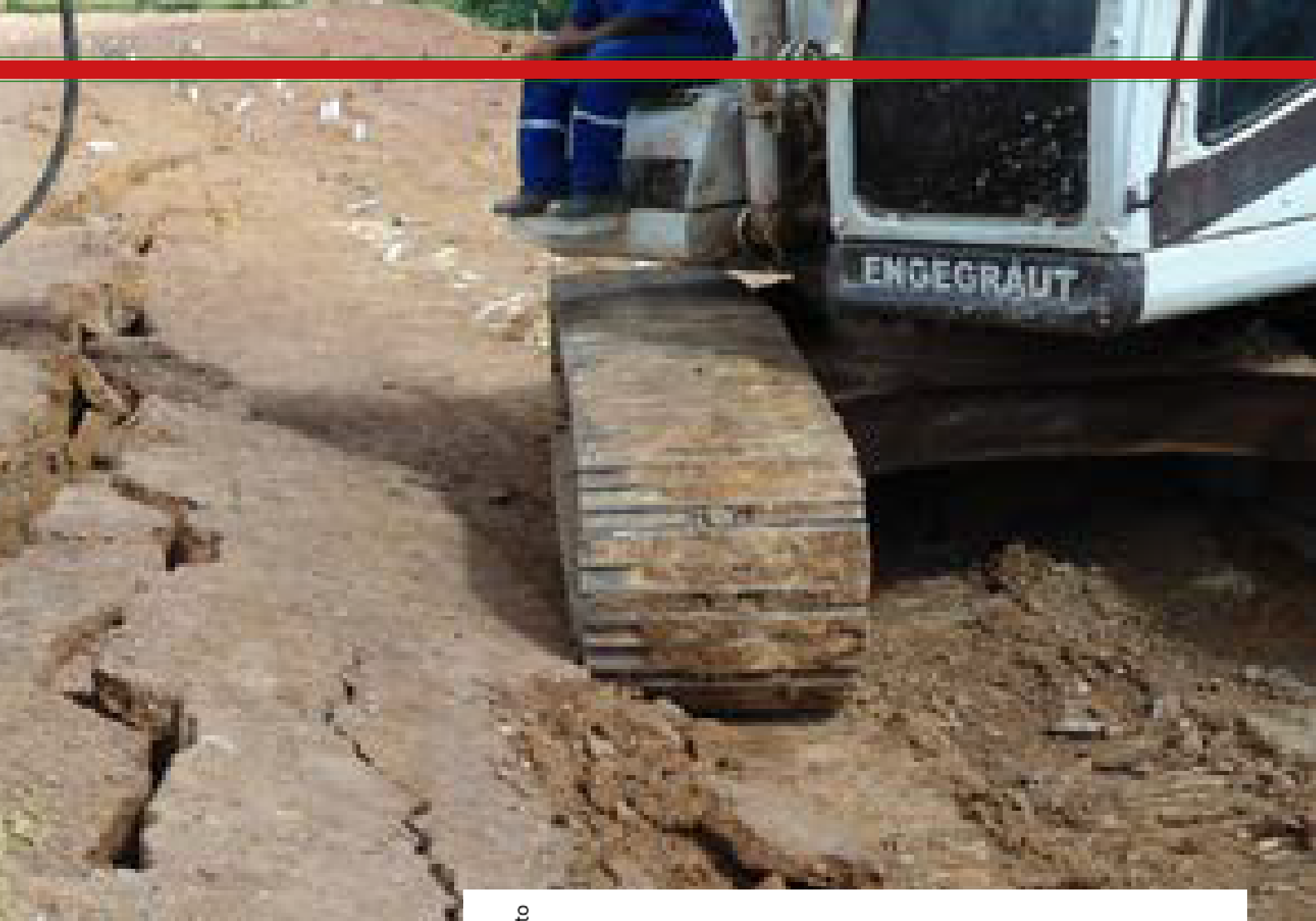
Figura 1 - Nesta obra, lançou-se e compactou-se aterro sobre solos moles objetivando-se ampliar a rodovia, sem efetivar-se qualquer melhoramento do solo. O resultado foi um extenso processo de ruptura ao longo da faixa marginal, impactando inclusive nos postes existentes. O melhoramento do solo, com Geonrijecimento, foi iniciado à seguir, apesar de toda a instabilidade existente, com o peso dos equipamentos.

Ampliação de rodovias, inevitavelmente conduz a incorporação entre aterros antigo e novo, integrando trechos distintos. Nesta matéria, procuramos analisar as características do processo deformacional e os fatores influenciadores do maciço, pertinente à obras de ampliação rodoviária, por meio da análise numérica, variando sistematicamente os parâmetros da ampliação, observando os efeitos no recalque máximo em seu gradiente e na extensão da zona afetada. A maioria dos estudos utilizam o método de elementos finitos para analisar o comportamento deformacional do solo em obras de ampliação rodoviária, quando há presença de solos moles. Considerando-se um problema bidimensional, em regime de deformação plana, com o modelo adotando o critério constitutivo elasto-plástico de Drucker-Prager, assumindo-se continuidade plena entre o aterro existente e o novo, sem

descontinuidades ou deslizamentos na interface, e condições de contorno com base indeformável e superfície drenante. Os parâmetros geotécnicos adotados, evidenciam heterogeneidade do sistema, com o aterro antigo apresentando módulo de deformação de 20 MPa, coesão de 50 kPa e ângulo de atrito de 30°, enquanto o aterro novo possui módulo reduzido de 10 MPa e coesão de 40 kPa. Já o solo de fundação é caracterizado por módulo extremamente baixo de 5 MPa, coesão de apenas 9 kPa e ângulo de atrito de 5°, representando um solo mole altamente compressível e com baixa resistência ao cisalhamento, o que implica em deformações significativas sob carregamento. A principal limitação, deste tipo de abordagem, é que aceita o solo

como é, apenas analisando sua resposta sem promover qualquer alteração efetiva no estado tensional do maciço. A geometria analisada considerou uma plataforma original de 10 m de largura, com ampliação lateral também de 10 m, taludes com inclinação 1:1,5 e uma camada de solo mole com profundidade de 10 m. A resposta do modelo mostra distribuição do recalque, ao longo da seção transversal, com formato típico em “S”, indicando que o aterro antigo, já consolidado ao longo do tempo, sofre recalque adicional limitado, enquanto o aterro novo concentra deformações significativamente maiores, devido ao processo de consolidação iniciado.

	Peso específico /KN/m ³	Módulo de deformação/ Mpa	Coefficiente de Poisson	Coesão /Kpa	Ângulo de Atrito
Antigo Subleito	19.8	20	0.28	50	30
Novo Subleito	19.8	10	0.28	40	30
Solo de Fundação	19.8	5	0.35	9	5



Método de cálculo, por elementos finitos, das características da deformação do aterro ampliado.

Na figura ao lado, o gráfico mostra claramente a desproporção ou assimetria da rigidez, entre o trecho antigo e o novo, gerando recalque diferencial progressivo, principal causa da fissuração longitudinal. Na figura, próximo a junta criada ou a origem (0-5m), o recalque é pequeno (1 a 2cm). A medida em que afasta-se lateralmente, para a nova pista, aumenta progressivamente. Entre 5 e 15m ocorre a zona de maior gradiente deformacional. O recalque máximo atinge cerca de -10 a -11cm próximo de 18-20m. A curva é suave e contínua, indicando comportamento típico de solo compressível

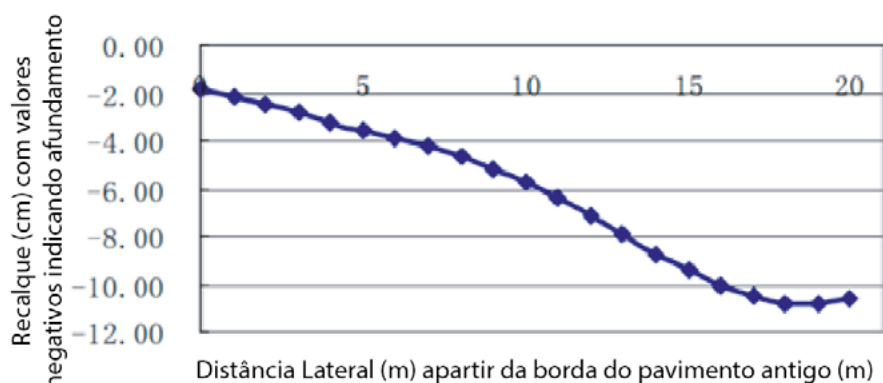


Figura 2 - Gráfico mostrando o aterro novo (ampliação), sofrendo recalque com gradiente deformacional da pista antiga para a nova, gerando rotação do subleito, distorção angular e presença de trinca longitudinal com formação de junta.

(sem rutura brusca), evidenciando efeito de transição entre a estrutura existente e a ampliação. A região mais distante sofre maior deformação (zona crítica de recalque diferencial), o que é bastante trivial em obras de

ampliação rodoviária sem melhoramento do solo. Este tipo de curva é o que se deseja eliminar com o melhoramento do solo com o CPR Grouting, aumentando o módulo na faixa nova, reduzindo o gradiente do recalque, “horizontalizando” a curva.




PIEZÔMETRO AUTOCRAVÁVEL (PWP)

A série PWP de piezômetros de corda vibrante (autocraváveis) foi projetada para medir, com precisão, a poropressão em depósitos de solos moles. Suas características são:

- **ROBUSTEZ**
- **PRECISÃO**
- **CONFIABILIDADE**

Representante exclusivo no Brasil: **3GEO TECNOLOGIA LTDA**
+55 21 2718 3968 / vendas@3geotecnologia.com / www.3geotecnologia.com

A largura da ampliação rodoviária e os efeitos deformacionais diferenciais.

A seguir, avaliou-se como a largura da ampliação influencia a deformação diferencial do novo aterro. Fixou-se um modelo geotécnico (já definido anteriormente), variando apenas a largura da ampliação, B, de 2,5 e 10m, avaliando-se o recalque ao longo da superfície do novo aterro. O gráfico, ao lado, evidencia cada curva com um B diferente, observando-se que próximo a junta entre pavimentos antigo e novo, há recalques menores e a medida que se afasta, em direção ao novo, o recalque aumenta. A forma típica é uma curva inclinada, com tendência a uma “bacia assimétrica”, evidenciando-se que para B=2m há um recalque máximo de 4,36cm. Para B=5m, há um recalque máximo de 7,17cm, e para um B=10m, há um recalque máximo de 10,81cm. Verifica-se, então, que aumentando a largura ampliada, há aumento da carga total no solo de fundação. Mesmo que a tensão seja similar, ocorre maior área carregada e maior volume do solo solicitado, traduzindo-se em maior recalque absoluto com deformação diferencial acompanhada de

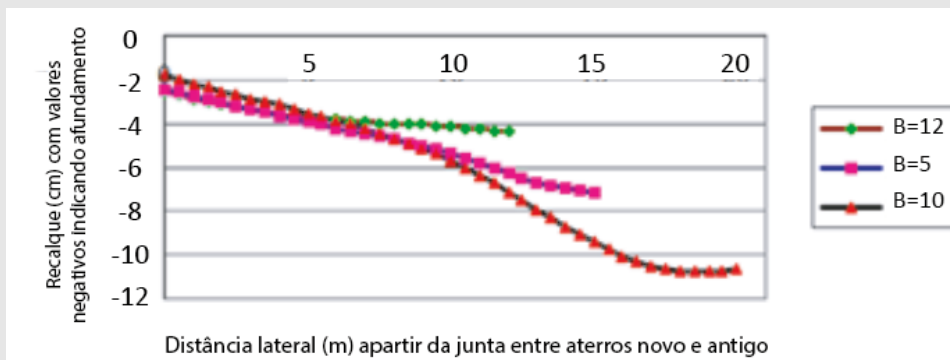


Figura 3 - Curvas do recalque e da relação com a largura da ampliação.

um gradiente lateral deformativo. As consequências são a rotação do pavimento, fissuração longitudinal e degraus entre a pista nova e a antiga. A influência da largura, na ampliação rodoviária, também manifesta-se. Para um B=2m, o efeito é localizado, havendo menor perturbação global. Para um B médio de 5m, movimenta-se um volume maior de aterro, já aparecendo um forte gradiente. Com um B=10m, há recalque significativo. Com esta performance, quando maior a largura da ampliação rodoviária, maior o recalque total, a deformação diferencial e o risco estrutural do pavimento. Este resultado mostra um comportamento clássico do solo mole, de não só “recalcar mais” e sim de forma diferente ao longo do trecho

ampliado. O estudo, como se vê, aceita a deformação como consequência. Com o melhoramento/ readequação do solo com geoenrijecimento (CPR Grouting) há aumento da rigidez e a homogeneização do maciço, eliminando seu comportamento diferencial.

A altura da ampliação rodoviária e os efeitos deformacionais

Selecionou-se os parâmetros geotécnicos do primeiro exemplo e, em seguida construiu-se o modelo de análise com larguras de ampliação de 2,5 e 10 m. De acordo com os mesmos passos do cálculo anterior, obteve-se curvas de recalque na superfície do novo aterro para diferentes alturas da ampliação rodoviária, conforme figura 4, ao lado. Os valores do recalque máximo, na superfície do novo aterro ampliado, com altura de h=2 m é de ~5,58cm. Com altura h=5m é de ~10,81cm e com h=10 é de ~11,75cm. O aumento portanto, da altura, eleva o recalque, mas com tendência para seu limite deformacional (de 5m para 10m o recalque é menor), indicando a aproximação de um estado mais consolidado do solo. A inclinação da curva do recalque, por sua vez, é a sua taxa de variação, ou seja, Δ_s/Δ_x , onde Δ_s é a diferença de recalque, e o Δ_x é a distancia horizontal, ou seja, é o “ângulo” ou “declive” da deformação do novo aterro. Para a rodovia antiga, com um h=2m há 0,20%, para um h=5m, há 0,33% e para h=10m há 0,39%. Na região ampliada, com um h=2m, há 0,37%, com um h=5m há 0,43% e para um h=10m há 0,50%. Isto significa que a nova pista sempre deforma mais que a antiga. O aumento de h acentua a inclinação, melhor, aumenta a tendência de deformação diferencial. A diferença de inclinação (ponto crítico),



Figura 6 - Ampliação rodoviária. Melhoramento do solo, com presença de solo mole.

$\Delta i = i_{\text{novo}} - i_{\text{antigo}}$, entre a condição antiga e a ampliada é com um $h=2\text{m}$, onde há 0,17%, com um $h=5\text{m}$, há 0,04% e com um $h=10\text{m}$ há -0,03%. Tornando o caso de $h=2\text{m}$, a nova é 0,37% e a antiga é 0,20%, logo, a diferença é 0,17%. A pista nova recalca muito mais rápido que a antiga, gerando um “giro” transversal da nova faixa. Assim, com $h=2\text{m}$, há forte descontinuidade e risco de fissuras longitudinais, com $h=5$, há quase equilíbrio e com $h=10\text{m}$, ocorre inversão, havendo comportamento mais uniforme. Se, portanto, aumentarmos a altura do aterro, aumenta o recalque total e reduz a deformação diferencial entre a pista nova e a antiga. Ou seja, havendo mais carregamento há mais uniformização do sistema.

Influência do módulo de deformabilidade do solo de fundação no recalque do novo aterro em ampliações rodoviárias com presença de solos moles.

A análise numérica, apresentada na figura 5, acima, evidencia a forte influência do módulo de deformabilidade do solo de fundação, (E), no comportamento do novo aterro em ampliações

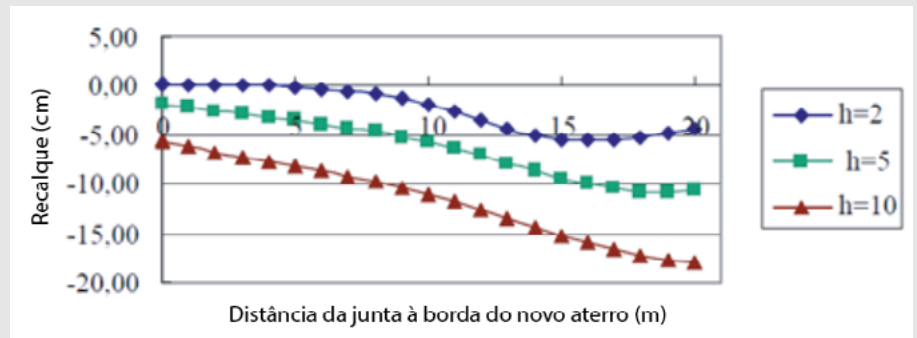


Figura 4 - Relação entre a altura do novo aterro e a ocorrência de recalque.

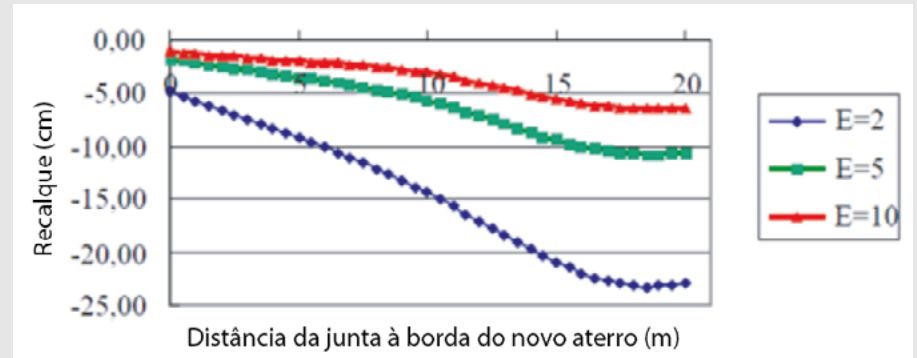


Figura 5 - Relação entre o recalque no novo aterro e o módulo de fundação.

rodoviárias. Para valores de $E = 2, 5$ e 10 MPa , o recalque máximo observado no bordo da ampliação foi, respectivamente, 23,2 cm, 10,8 cm e 6,5 cm, indicando redução superior a 70% com o aumento da rigidez do solo. A inclinação do recalque (distorção angular) também apresentou redução significativa. Na pista nova, os valores passaram

de 1,04% ($E=2 \text{ MPa}$) para 0,51% ($E=5 \text{ MPa}$) e 0,34% ($E=10 \text{ MPa}$). Na pista existente, a sequência da redução foi de 0,95% para 0,39% e, depois, 0,19%, evidenciando melhoria global da deformabilidade do sistema. Entretanto, a diferença de inclinação, entre a pista nova e a antiga, não segue tendência line-

O QUE É O MÓDULO DE DEFORMAÇÃO (E)

É a relação entre a tensão aplicada e a deformação resultante no solo, através da equa-

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

Onde, na prática geotécnica temos as seguintes condições:

- Com E baixo, temos solo muito deformável com grande recalque
- Com E alto, temos solo rígido com pequeno recalque ou ausência.

É o parâmetro que controla diretamente a magnitude dos deslocamentos no solo. O que o gráfico superior mostra, sobre o E (para 2,5 e 10 Mpa), é que o solo ainda é mole e pouco estruturado. Havendo pequeno aumento de E, implica em grande redução do recalque. A interpretação geotécnica é que o solo está em regime altamente compressível. O E representa um material ainda não estruturado e a deformação é extremamente dependente. No gráfico inferior ($E = 5, 10$ e 30 Mpa), o solo encontra-se melhorado e geoenrijecido. Aumentando-se ainda mais o E, há pouca redução do recalque. A interpretação geotécnica é que o solo já atingiu um estado estrutural mais estável. O comportamento passa a depender também da geometria do aterro, da redistribuição de tensões e do confinamento lateral. Observa-se, portanto, que o E deixa de ser o único controlador. Em uma leitura geotécnica mais profunda, os dois gráficos mostram que o módulo E não é um parâmetro absoluto, e sim dependente, do estado do solo. Antes do melhoramento, o solo encontra-se próximo a um estado plástico, com alta razão τ/su , de aproximadamente 0,6, tendendo para 0,8. Uma pequena variação do E conduz a grande deformação. Após o melhoramento do solo, encontra-se mais rígido e homogêneo, com o CPR crescendo, assim como o estado de confinamento. A razão τ/su é reduzida. O resultado é que o processo deformativo diminui muito, na medida em que cresce o E, saciando o ganho estrutural. Desta forma, o E deve ser entendido como parâmetro de controle deformacional, indicador do estado estrutural do solo, não havendo linearidade, já que depende do nível de tensões e do melhoramento do solo. A conclusão é que quando há presença de solos moles, o E controla tudo. Havendo melhoramento do solo, o E perde sensibilidade. Após, há um retorno decrescente. Desta forma, o módulo de deformação (E) representa a rigidez do solo e controla diretamente o recalque induzido por carregamentos. Os gráficos mostram que, com solos moles, pequenas elevações de E resultam em reduções significativas da deformação. No entanto, após determinado nível de geoenrijecimento, o aumento do módulo passa a produzir ganhos marginais, indicando que o comportamento do maciço deixa de ser governado exclusivamente pela rigidez, passando a depender da sua estrutura global e redistribuição das tensões. Ou seja, o módulo de deformação não é apenas um número e, sim, traduz o estado estrutural do solo.



Análise de Estabilidade



Escavações e Contenções



Muros e Gabiões



Recalque



Sondagens de Solo



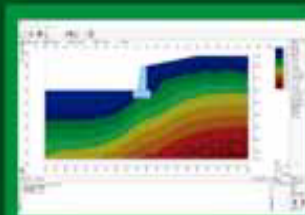
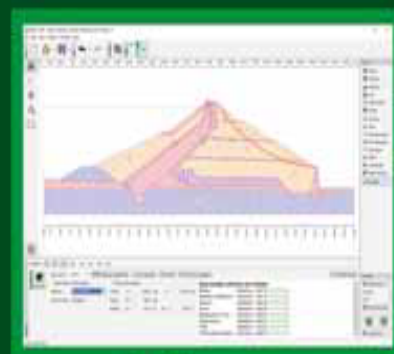
Túneis e Poços



Estudos
geológicos



Muros e
Gabiões



AVALIE GRATUITAMENTE

Solicite: comercial@solucoescad.com.br

Distribuido por:

SOLUÇÕES CAD
BIM

www.solucoescad.com.br





Figura 7 - Nesta rodovia, com presença de solo mole na fundação, executou-se aterro para ampliá-la, ocorrendo, imediatamente, fraturas em sua superfície, evidenciando princípio de rutura. Com esta condição, inciou-se o melhoramento do solo.

ar, variando de 0,09% (2 MPa) para 0,12% (5 MPa) e 0,15% (10 MPa). Este comportamento indica que, embora o aumento da rigidez do solo de fundação reduza o recalque absoluto, não elimina, automaticamente, o recalque diferencial. Do ponto de vista geotécnico, conclui-se que o simples aumento do módulo do solo de fundação não resolve o problema de transição entre estruturas geotécnicas. A solução mais eficiente exige a homogeneização do maciço, com controle simultâneo de sua resistência e deformabilidade, condição essencial para evitar fissuração longitudinal e patologias no pavimento, só obtido com a readequação/ melhoramento do solo com geoenrijecimento. Analisando-se a figura 8, acima, evidencia-se a relação direta entre o módulo do solo de fundação (E), no novo aterro, e o processo de recalque, mostrando que o aumento da rigidez do solo reduz significativamente as deformações. Os resultados numéricos indicam que com um $E = 5$ MPa obtém-se um recalque máximo de 12,68 cm, com um $E = 10$ MPa obtém-se recalque máximo de 10,81 cm e com um $E = 30$ MPa obtém-se um recalque máximo de 9,37 cm. Observa-se, portanto, uma redução de aproximadamente 26% no recalque ao elevar o módulo de 5 para 30 MPa. No entanto, mesmo com maior rigidez, o recalque

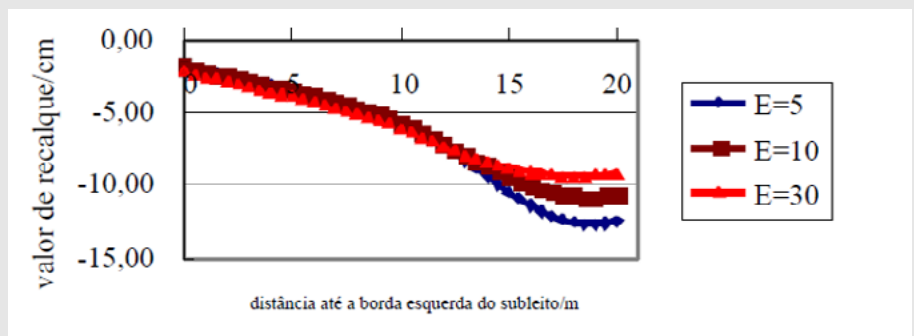


Figura 8 - Relação entre o recalque no novo aterro e o seu módulo.

permanece elevado, evidenciando que o problema não é apenas de magnitude, mas de compatibilidade deformacional. Outro ponto crítico é a inclinação da curva de recalque (distorção angular). Para baixos módulos (5 MPa), a curva apresenta maior inclinação, indicando forte deformação diferencial entre o trecho novo e o existente, condição típica de surgimento de trincas longitudinais na interface. Já com

módulos mais elevados (30 MPa), a deformação torna-se mais distribuída, reduzindo o gradiente do recalque. Portanto, a simples elevação do módulo do solo de fundação melhora o desempenho, mas não resolve integralmente o problema da ampliação, sendo necessária uma solução que promova homogeneização de todo o maciço, como o melhoramento profundo do solo com geoenrijecimento.

FORMA MAIS RÁPIDA DE OBTER TENSÃO CISALHANTE MOBILIZADA NO SOLO (τ).

A forma mais direta e rápida, em campo ou para análise preliminar, não é medindo-a diretamente, e sim, estimulando-a a partir do estado de tensões existentes.

a) Pelo equilíbrio

Para taludes, a maneira mais rápida é através da fórmula abaixo, obtendo-se o τ ao longo de uma superfície paralela ao talude:

$$\tau = \gamma \cdot h \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta$$

Onde:

γ é o peso específico do solo
 h é a profundidade considerada
 β é a inclinação do talude

b) Se tivermos tensões verticais

$$\tau = \sigma'_v \cdot \tan \beta \quad \text{Ou mais direto} \quad \tau = k \cdot \sigma'_v$$

Onde:

σ'_v é a tensão vertical efetiva
 k é o coeficiente que representa o estado de tensões (k_0 ou mobilizada).

c) Forma mais rápida e inteligente

Quando há presença de solos moles:

$$\frac{\tau}{S_u} \quad \text{ou rearranjando} \quad \tau = \left(\frac{\tau}{S_u} \right) \cdot S_u$$

d) A mais rápida de todas

$$\tau = 0,7 \cdot S_u$$

Excelente para controle de risco, decisão rápida ou avaliação.

A intervenção com o melhoramento do solo

Com a introdução da readequação do solo com geoenrijecimento com CPR Grouting, toda essa lógica muda completamente, pois o solo deixa de ser apenas um meio passivo e passa a ser geoenrijecido, pelo processo de compressão, consolidação e confinamento imposto, de acordo com as seguintes premissas:

- Há aumento significativo do S_u (resistência não drenada) e do módulo de deformação (E), podendo elevar-se de valores da ordem de 1–5 MPa para patamares superiores (40–80 MPa ou mais, dependendo do caso);
- O estado de tensões é deslocado para uma condição mais estável, com redução da razão τ/S_u , afastando o solo da plastificação;
- O sistema solo–aterro passa a trabalhar de forma mais homogênea, reduzindo recalques diferenciais, principal problema em ampliações rodoviárias.

Visão em corte do solo mole podendo apresentar textura e cor escura

ou cinzenta. Para torná-lo rijo faça
MELHORAMENTO DE SOLO

Solicite informações
www.softsoilbrazilianreview.com.br

Portanto, enquanto a maioria dos estudos, pertinentes a ampliação rodoviária, limita-se a caracterizar o problema, o geoenrijecimento atua diretamente na solução, promovendo a transformação do subleito, aumentando a rigidez de maneira global e controlando, de maneira efetiva, o processo de deformações. Em síntese, os modelos numéricos, pertinentes aos trabalhos de análise de deformações, em ampliações rodoviárias, descrevem cenários típicos de vulnerabilidade geotécnica, enquanto o melhoramento do solo com geoenrijecimento representa a intervenção capaz de alterar os parâmetros de entrada do próprio modelo, levando a um novo comportamento estrutural do conjunto solo–subleito–pavimento.



Geotechnical Analysis SIG: Simulating Soil Lab Tests for PLAXIS Soil Model Parameters



Micha van der Sloot
Technical Support Manager
Bentley Systems, Inc.

PLAXIS: Simulating Soil Lab Tests

www.bentley.com

Dear User,

When conducting laboratory test results – such as Triaxial and Oedometer tests – you want to make sure that the behavior of your chosen constitutive soil model captures the test result data. With the SoilTest feature, PLAXIS offers a quick and simple method to simulate these lab tests and verify the model behavior. To learn more, this Geotechnical Special Interest Group virtual workshop is a must see!

The agenda for the one-hour session encompasses:

- How to start a soil lab simulation
- Optimizing your model parameters to replicate real-life behavior
- After optimizing, how to quickly update the soil material definition in PLAXIS

The Geotechnical Analysis SIG is open to all Bentley users, so invite your colleagues!

**Geotechnical Analysis SIGs – complimentary virtual
workshops to keep you working optimally!**

A IMPORTÂNCIA DA RELAÇÃO τ / su

A relação τ / su é fundamental para solos moles, principalmente em condições não drenadas, onde τ é a tensão cisalhante mobilizada no solo, su é a resistência ao cisalhamento não drenada. O τ , essencialmente é a tensão cisalhante máxima que o solo pode suportar. Esta relação indica o nível de mobilização da resistência do solo, assim interpretado:

Interpretação direta

- $\tau / su < 1 \rightarrow$ o solo está em regime estável
- $\tau / su \approx 1 \rightarrow$ condição de ruptura iminente
- $\tau / su > 1 \rightarrow$ ruptura já ocorreu (ou modelo inconsistente)

Significado físico é o seguinte:

- Valores baixos (0,2 – 0,4):
Solo pouco solicitado, comportamento quase elástico
- Valores médios (0,5 – 0,7):
Solo já trabalhando, início de deformações significativas
- Valores altos (0,7 – 1,0):
Solo próximo da plasticidade/ruptura

Com relação a obras de ampliação rodoviária sobre solos moles:

- Antes do melhoramento do solo:
 $\rightarrow \tau/su$ frequentemente na faixa 0,6 – 0,8
 \rightarrow solo já próximo do limite, com risco de deformação e ruptura
- Após o CPR Grouting:
 \rightarrow aumento do su
 \rightarrow a mesma tensão τ passa a representar menor mobilização
 $\rightarrow \tau/su$ cai para 0,3 – 0,5
 \rightarrow comportamento mais estável e homogêneo

A relação τ / su é um indicador direto da segurança pois controla a estabilidade, indica o nível de deformação e mostra claramente o efeito do melhoramento do solo.

REFERÊNCIAS

- Patricia Karina Tinoco é engenheira geotécnica. Trabalha com melhoramento de solos moles.
- Zheng Chuanchao. The Influence of Pavement Structure on Subgrade Settlement, Journal of Chongqing Jiaotong Institute. 1998, 33-36.
- Luo Zhen. Finite Element Analysis on Stresses in Slab Track Structures on Soil Subgrade, Journal of Southwest Jiaotong University. 2007, 12(6): 42-47.
- Zhou Wen, Analysis Influences of strength inhomogeneity of new and old subgrade for widening pavement structure, Highway Engineering, 2009, 41(5): 21-24.
- Ai Teng. Analysis of deformation in widening project of expressway by finite element method.
- Han, J., Oztoprak, S., Parsons, R. L., Huang, J. (2007). Numerical analysis of foundation columns to support widening of embankments. The University of Kansas, Istanbul University.
- Estakhri, C. K., Freeman T. J., Spiegelman, C. H. 2001 Density evaluation of the longitudinal construction joint of hot-mix asphalt pavements. Texas Department of Transportation.
- Hilbrich, S., Scullion, T. 2007 Design considerations for flexible pavement widening. Texas Transportation Institute.

Formação em Gestão de Riscos

ALTO

MÉDIO

BAIXO



Gestão de Riscos 1

CLIQUE AQUI!

Curso introdutório, necessário para refletirmos e nos questionarmos de como devemos interagir com o que nos rodeia e para transformar riscos em aliados.



Gestão de Riscos 2

CLIQUE AQUI!

Um curso prático para aquelas pessoas que tem objetivos na vida e desejam viver melhor, sem riscos. É um curso completo para preparar o aluno para ter disciplina e perseverança na sua profissão e na identificação e gestão de riscos continuamente.



Gestão de Riscos 3

CLIQUE AQUI!

Um curso avançado para aquelas pessoas que querem ir além, que gostaram do tema gestão de riscos e querem aprender a estimar probabilidade, impacto e conhece a terceira dimensão. O tempo até o impacto.

+1.5k

Alunos Treinados ao longo dos anos.

Prof. Fernando Affonso
Especialista em Riscos

Sobre o Curso

Em um mundo dinâmico e repleto de incertezas, a capacidade de identificar, avaliar e gerenciar riscos é essencial para o sucesso de qualquer pessoa ou organização. A Formação em Gestão de Riscos foi desenvolvida para oferecer um conhecimento sólido e prático sobre estratégias de mitigação de riscos, independentemente do setor de atuação.

Composta por três cursos complementares, esta formação proporciona uma visão ampla e aplicada sobre os principais conceitos, ferramentas e metodologias utilizadas na gestão de riscos. Seja você um empreendedor, profissional de qualquer área ou alguém que deseja aprimorar sua tomada de decisões, este programa é ideal para fortalecer sua capacidade de antecipação e resposta a desafios, garantindo maior segurança e eficiência em seus projetos e negócios.

QUERO SER UM ESPECIALISTA EM
GESTÃO DE RISCOS



O CORTE DO TALUDE E AS CONSEQUÊNCIAS EM OBRAS DE AMPLIAÇÃO RODOVIÁRIA.

Figura 1 - Cortar é rápido. Estabilizar é indispensável, pois o talude define o desempenho da duplicação rodoviária. A remoção abrupta do confinamento lateral altera o estado de tensões, reduz a resistência disponível e desencadeia deformação quando há presença de solo mole.

Na realidade, objetiva-se evitar a descontinuidade de rigidez, da deformabilidade e do modo de trabalho entre o aterro novo e o corpo antigo da rodovia. Há um caso muito interessante, na **edição n.º 4** de uma ruptura de aterro, sobre solo mole muito profundo, seguida de remoção do material rompido e execução do melhoramento do solo, permitindo reconstruir o aterro e a duplicação da BR-101. Objetiva-se, portanto, elevar bastante a resistência e a rigidez do conjunto de solo tratado, subleito e fundação, em substituição à solução inicial, que originou a rutura, baseada em pré-carregamento. A grande questão é que a rutura provocou uma profunda descontinuidade com a formação de uma parede vertical com quase 6m de altura, junto ao acostamento da antiga rodovia. O ponto principal é que o melhoramento do

solo resolveu a capacidade suporte do solo de fundação e eliminou a deformabilidade sob o aterro novo, mas a interface com a rodovia antiga continuou sendo uma região crítica. A rodovia antiga já estava há muitos anos consolidada, com

recalque praticamente esgotado e estrutura já "acomodada". Já o aterro novo, lançado em camadas, passou a trabalhar com outro histórico de tensões, outra rigidez e outra distribuição de deformações. A grande questão é,



Figura 2 - Trincas longitudinais na intercessão do pavimento antigo com o ampliado.



tre antigo e novo. Terceiro, a concentração de deformações horizontais e de tração na camada asfáltica, exatamente porque o pavimento tenta funcionar como elemento contínuo, sobre apoios que deformam de for-



Figura 3 - Trinca longitudinal no pavimento ampliado.

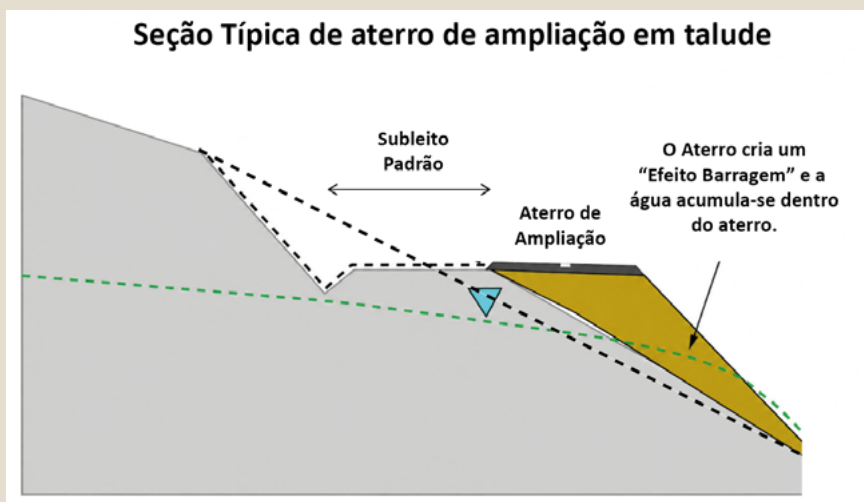


Figura 2 - A remoção do pé do talude e o corte inadequado alteram o equilíbrio original, induzindo deformabilidade e instabilidade. O aterro cria efeito de barragem, elevando a poropressão, potencializando deformações no maciço.

portanto, quando não se faz o escalonamento, a amarração geométrica e a transição mecânica entre os dois corpos, estabelece-se um "degrau geotécnico-estrutural", que

gera três efeitos ao mesmo tempo. Primeiro, o diminuto recalque diferencial, suficiente para fissurar o novo pavimento. Segundo, a rotação diferencial, próxima à junta en-

ma diferente. O resultado é que aparecem fissuras longitudinais finas, exatamente na linha de encontro entre o trecho novo e o antigo, sem qualquer incidência de recalque. Ou seja, basta haver diferença de alguns milímetros a poucos centímetros, distribuída em uma faixa curta, para o asfalto trincar. O problema, portanto, não indica falha do melhoramento do solo em profundidade e, sim, falta de uma zona de transição entre os dois sistemas com comportamentos distintos. O escalonamento, no aterro antigo, para dentro do

1. eliminar a superfície vertical de contato, que funciona como plano preferencial de deformação e,
2. distribuir gradualmente as tensões e deformações, reduzindo a concentração de esforços no pavimento.

Portanto, a solução em uma ampliação rodoviária não deve se limitar ao reaterro ou à recomposição geométrica, mas sim ao tratamento do maciço como um sistema único, promovendo a uniformização da rigidez e da resistência ao longo da interface. Técnicas que atuam diretamente no solo, elevando sua capacidade suporte, reduzindo sua deformabilidade, são fundamentais para garantir o desempenho estrutural da ampliação ao longo do tempo. Sem a devida integração geotécnica entre os maciços, o comportamento conjunto da plataforma rodoviária fica comprometido, favorecendo a surgência de fissuras longitudinais e perda de desempenho estrutural, porque a plataforma rodoviária deixa de trabalhar como um sistema contínuo, passando a se comportar como dois corpos com rigidez e deformabilidades distintos. O aterro antigo, já consolidado, apresenta menor/ ausência de deformabilidade. Já o aterro novo ainda está adensando, submetido a deformações, o que gera recalque diferencial, fissuração longitudinal devido à perda de integridade do revestimento, agravado pela infiltração d'água, redistribuição de tensões, surgindo concentrações localizadas que não estavam previstas em projetos e perda de confinamento lateral, já que o novo aterro pode tender a deslocamentos laterais/ horizontais.

DIMINUIR INCERTEZAS GERA MAIS
SEGURANÇA

AS VARIAÇÕES DO CLIMA TRAZEM MUITAS INCERTEZAS E PROBLEMAS PARA A REALIZAÇÃO DE OBRAS E SÃO RESPONSÁVEIS POR + DE 15% DOS ATRASOS E AUMENTOS DE CUSTOS DO SETOR.

SISTEMA PARA GESTÃO DE RISCO DE IMPACTO CLIMÁTICO NO PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DE OBRAS.

AUMENTE A PRODUTIVIDADE E REDUZA CUSTOS DURANTE A OCORRÊNCIA DE CHUVAS COM PREVISÃO PERSONALIZADA E ALERTAS DE TEMPESTADES EM TEMPO REAL.

NIMBUS <https://www.nimbusmeteorologia.com.br/>
<https://www.linkedin.com/company/nimbusmeteorologia>

REFERÊNCIAS

- Duncan, J. M.; Wright, S. G.
Soil Strength and Slope Stability. John Wiley & Sons, 2005.
→ Base conceitual para estabilidade de taludes e comportamento tensão–deformação.
- Transportation Research Board
Embankment Design and Construction. NCHRP Report 393, 1997.
→ Referência clássica para comportamento de aterros e interação com fundação.
- Federal Highway Administration
Design and Construction of Embankments on Soft Ground. FHWA-NHI-16-072, 2016.
→ Diretrizes modernas para recalques, adensamento e solos moles.
- Terzaghi, Karl; Peck, Ralph B.; Mesri, Gholamreza
Soil Mechanics in Engineering Practice. 3ª ed., Wiley, 1996.
→ Fundamentos do comportamento de solos e recalques.
- Burland, J. B.
Assessment of risk of damage to buildings due to tunnelling and excavation. 1995.
→ Importante para entender distorção angular e efeitos de deformação diferencial.
- Ladd, C. C.
Stability evaluation during staged construction. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1991.
→ Base para análise de estabilidade com evolução de carregamento.
- Indraratna, Buddhima; Chu, Jian
Ground Improvement Case Histories. Elsevier, 2005.

PRESSIÔMETRO

Um ensaio geotécnico completo realizado no campo

Fácil de operar e 100 % viável



ROCTEST

Representante exclusivo no Brasil

+55 21 2718 3968

**3Geo**
TECNOLOGIA

vendas@3geotecnologia.com

www.3geotecnologia.com

PROJETANDO UMA AMPLIAÇÃO DE RODOVIA, SEM PROBLEMAS.

Figura 1 - Ampliação rodoviária sendo executada na BR - 470, no Vale do Itajaí, SC, com melhoramento do solo, devido a presença de profundas camadas de solo mole.

Estudos europeus mostram que patologias em ampliações rodoviárias, com presença de solos moles, são tratadas de forma superficial, focando na posição das juntas do pavimento antigo com o novo, e não na causa real do problema. As trincas por reflexão e recalques diferenciais decorrem da diferença de comportamento entre aterro antigo e novo, apoiados sobre solos com estados de adensamento distintos. As soluções propostas, como espera para recalque, sobrecarga e reforços locais, são tentativas de compensar a baixa rigidez do suble-

to. Sob a ótica do melhoramento do solo ou readequação com CPR Grouting, o problema é resolvido na origem, com o aumento da resistência e da rigidez do solo, por meio da compressão do solo com expansão radial controlada. O solo, readequado, passa a apresentar comportamento homogêneo e pré-adensado, reduzindo significativamente o recalque diferencial. Com isso, a interface entre as estruturas deixa de ser um ponto crítico. A necessidade de controlar a posição da junta perde relevância técnica. As trincas por reflexão tendem a ser eliminadas. O tempo de espera para estabilização torna-se desnecessá-

rio. A solução passa a ser preventiva, e não corretiva. Estes mesmos estudos destacam o problema clássico, em ampliações rodoviárias, que é a falta de conhecimento real da estrutura do aterro existente. A prática comum é investigar com cavas, GPR ou documentos antigos, mas isso é limitado. Muitas vezes, reforços e intervenções prévias não são identificados. A estrada pode ter sofrido alteamentos sucessivos, durante recalques, ou seja, o aterro já foi “reconstruído” várias vezes, sem controle adequado. Casos de falhas ocorreram justamente por essa avaliação imprecisa. A espessura real das camadas só aparece durante a es-



cavação, evidenciando forte heterogeneidade e baixa confiabilidade do subleito. Do ponto de vista da readequação do solo, com CPR Grouting, torna-se obrigatório, pois o solo não é uniforme nem conhecido. Logo, soluções por transferência de carga ou estruturais, tendem a falhar por não tratar o maciço. Observa-se, portanto, que o melhoramento ou readequação do solo encaixa melhor, estruturando o solo in situ, independentemente dessas incertezas. Embora muitos considerem o recalque um problema menor, há uma percepção relevante de que pode ser crítico, principalmente pela diferença de comporta-

mento entre o aterro antigo e o novo. As questões relevantes são de que há preocupação com o recalque diferencial entre pista existente e a ampliação, gerando fissuras longitudinais. A recomendação recorrente é que ambos os aterros (antigo e novo) comportem-se de forma semelhante o que, na prática, raramente ocorre sem intervenção no solo. A utilização de tráfego como forma de “compactação” é citado, mas isso é tecnicamente limitado e pouco controlável. Sugere-se aguardar o recalque antes da pavimentação, tentativa clássica de mitigação (pré-adensamento natural). Mesmo assim, há muitos relatos de falhas no pavimento

novo, evidenciando que o controle foi insuficiente, observando-se que em pavimentos flexíveis, o problema pode ser menos visível, mas continua existindo estruturalmente. O estudo, portanto, reforça exatamente a limitação de “soluções” tradicionais, que aceitam o recalque e tentam “administrar o tempo” esperando, sobrecarregando, compactando, etc, não atuando na causa, caracterizada pela baixa rigidez e resistência do solo mole, ficando o sistema susceptível a deformações diferenciais. O extenso estudo europeu trata da ampliação de rodovias, sobre solos turfosos (muito compressíveis), destacando que é um problema crítico, principalmente por causa do recalque diferencial entre pista antiga e a ampliação. O problema central está no fato de que a ampliação gera cargas adicionais, fazendo com que o solo mole sofra deformações, o que é difícil garantir que o trecho antigo e novo recalquem de forma uniforme. A dificuldade prática está na realidade de que o aterro existente já sofreu deformação anterior e que o novo trecho ainda vai recalcar, impondo comportamento distinto, o que torna a previsão e o controle deformacional complexo e incerto. Cita boas práticas, mas extremamente limitadas, de avaliar o recalque do novo trecho, tentando compatibilizar com o antigo, no entanto, o texto admite que isso é difícil de fazer com precisão. Cita “soluções” tradicionais como sobrecarga (precarregamento), utilização de geogrelha/ reforço metálico, substituição de solo, estacas, materiais leves e separação com geotêxtil, objetivando reduzir deformações e evitar mistura de materiais que, efetivamente, não atuam no recalque, apenas tentam contorná-lo, nada interferindo nos parâmetros críticos do solo mole.

A questão da junta entre o pavimento novo e o antigo

A tal junta longitudinal, estabelecida no pavimento asfáltico, é a formação de zonas de baixa densidade, ou seja, pontos frágeis e iniciadores da deterioração da rodovia. Aqui

Are you looking for a soil improvement in portuguese?

BEST SELLER

MELHORAMENTO DO SOLO MOLE E O GEOENRIJECIMENTO



Adquira seu exemplar através do email: ofitexto@ofitexto.com.br ou atendimento@softsoilgroup.com.br ou pelo site www.lojaofitexto.com.br

entra o conceito essencial das faixas nova e antiga, essencial em juntas de pavimentos. A faixa antiga encontra-se rígida e sem capacidade de deformação, ou seja, trata-se de um apoio duro, com baixo confinamento lateral e muitas vezes com densidade inferior na borda. Por outro lado, veja a figura 2, ao lado, a nova faixa ainda é deformável, permitindo ajuste geométrico, melhor compactação e aderência à faixa existente. A junta entre as faixas é, portanto, o ponto mais crítico do pavimento, já que poderá ocorrer infiltração de água e trincas refletidas. A figura 3, ao lado, sugestão da National Pavement Association (NAPA), apresenta uma junta longitudinal modelada onde a faixa antiga não termina verticalmente, sendo cortada de forma inclinada, formando uma cunha. A nova faixa avança sobre esta cunha, sobrepondo-se, preenchendo e encaixando-se na geometria existente, garantindo melhor transferência de carga, eliminando a zona de baixa densidade da figura anterior. A durabilidade da junta não depende do material e sim da densidade obtida.

Construindo a junta entre a pista existente e a ampliação

A literatura técnica apresenta diferentes soluções, para a execução da junta entre a pista existente e a ampliação, seja, inclinada (45° a 80°) ou em degraus. No entanto, a ausência de consenso evidencia um ponto fundamental, que o problema não está na geometria da junta, mas no comportamento do maciço como um todo. Recomendações como escalonamento das camadas de solo, uso de geotêxteis ou geogrelhas e amarração ao aterro existente buscam mitigar o efeito inevitável da descontinuidade estrutural entre materiais, com históricos de deformação distintos. Diversos estudos destacam que a falta de compactação é a principal causa de deslocamentos laterais, reforçando que o mecanismo de instabilidade não está na interface em si, mas na incapacidade do solo de fundação, e do aterro, trabalhando em de forma integrada. A prática de escavar cerca de 0,5 m no aterro existente, antes da ampliação, é apenas uma tentativa de melhorar essa transição, porém, atua

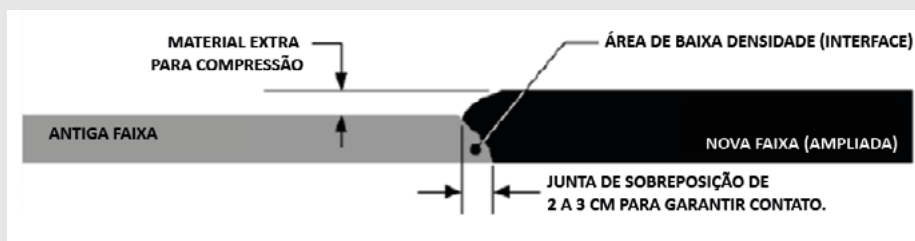


Figura 2 - Junta em área de baixa densidade. A borda fica “solta”, com menor confinamento e densidade, estabelecendo-se um plano preferencial de falha.

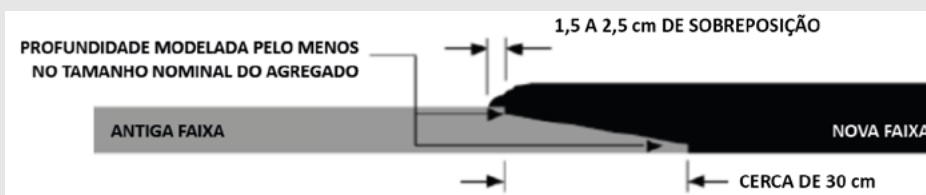


Figura 3 - Junta modelada na borda. A inclinação deve ter 30 cm de comprimento.

superficialmente sobre um problema que é essencialmente volumétrico e deformacional. Portanto, a junta é apenas a manifestação visível de um problema mais profundo. Sem o controle da deformabilidade do conjunto solo-aterro, qualquer solução geométrica será paliativa, e a ampliação continuará sujeita a recalque diferencial e deslocamento progressivo. O estudo europeu mostra que a drenagem, embora tratada como secundária, em ampliações rodoviárias, é crítica para o desempenho do sistema. A continuidade hidráulica entre o trecho antigo e o novo é essencial, já que descon-

tinuidades geram perda de eficiência e instabilidade local. A substituição dos drenos antigos evita folga e infiltração nos encontros, ponto clássico de falha. Destaca-se que drenos transversais, devem ser posicionados longe da via, para não enfraquecer o subleito, ponto chave quando há presença de solos moles. Casos de falha de borda são associados diretamente à drenagem deficiente. A geometria superficial influencia o escoamento e deve ser considerada no projeto. A drenagem depende fortemente do subleito. Ou seja, quando há presença de solos moles, sua eficiência é limitada sem seu melhoramento.

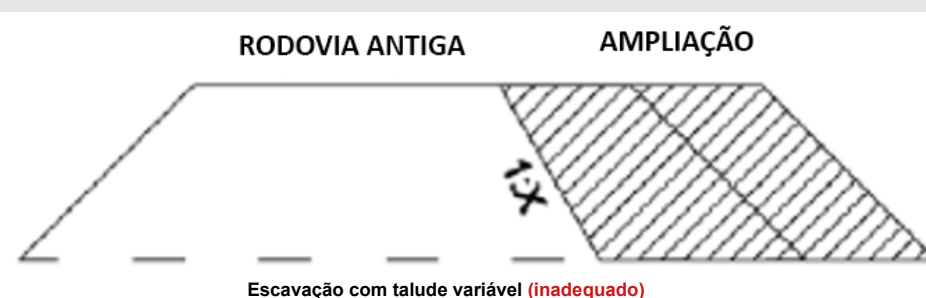
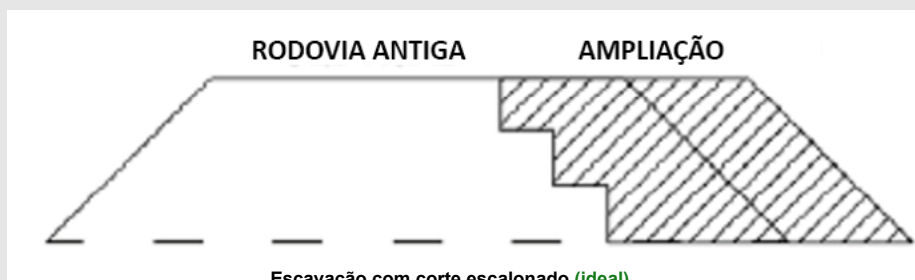


Figura 4 - Tipos de junta de construção para emenda de aterros.

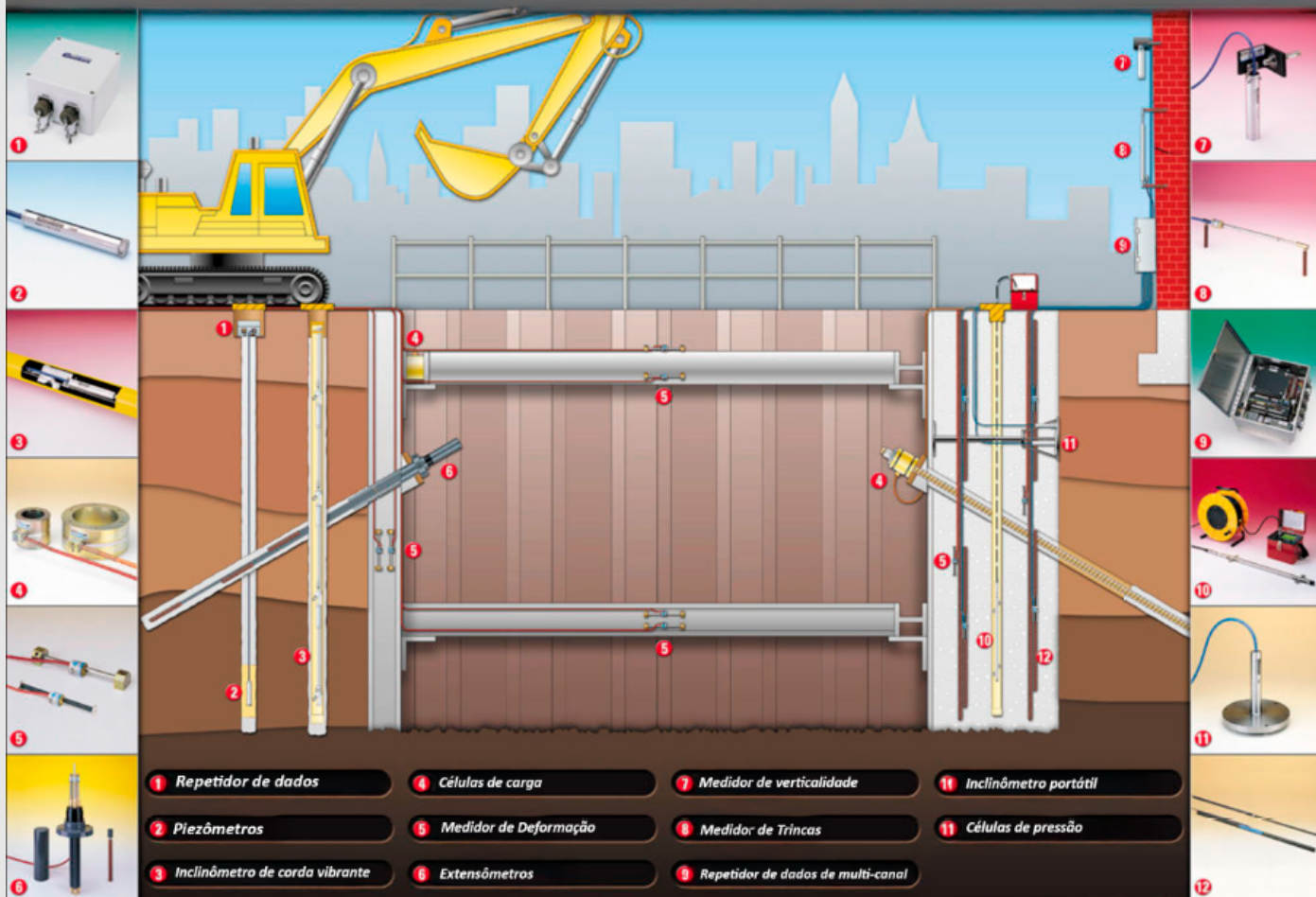


Figura 5 - Corte vertical sendo executado em uma ampliação rodoviária. Possíveis problemas de trincas longitudinais no novo pavimento.

O espaço lateral disponível condiciona o tipo de solução adotada. Em situações críticas, é necessário bombeamento, evidenciando incapacidade do sistema passivo, significando que drenagem sem tratamento do solo é paliativa, não resolvendo a questão do recalque nem perda de resistência. Quando o sistema de drenagem natural ou projetado não consegue escoar a água adequadamente (por baixa permeabilidade do solo, nível freático alto ou falta de espaço), recorre-se ao bombeamento forçado para remover a água. Ou seja, o solo/ sistema não drena por gravidade, há acúmulo de poropressão, o que pode comprometer o subleito, o talude ou a borda da pista. Neste caso, utiliza-se bombeamento com bombas, promovendo-se rebaixamento temporário ou permanente, para reduzir a poropressão do solo, evitar o amolecimento das camadas do solo e deformabilidade/ instabilidade da estrutura geotécnica.

Escavação profunda em ambiente urbano exige monitoramento extensivo para garantir estabilidade, verificando-se se estruturas próximas são afetadas.
Em todo o mundo utiliza-se instrumentos GEOKON.

Monitoramento de Escavação Profunda



A questão da estabilidade do talude

O estudo europeu aborda a instabilidade de taludes, em ampliações rodoviárias, especialmente quando há limitação de espaço lateral, levando ao aumento da inclinação, relatando escorregamentos, principalmente em períodos de chuvas, associados à saturação de solos. Como solução, propõem-se o uso de geotêxteis com gabião, drenagem eficiente e revegetação para controle de erosão superficial. Em estradas de baixo volume de tráfego, a alternativa prática é suavizar taludes, ainda que com remoção de árvores. No entanto, essa remoção pode reduzir a resistência superficial e agravar a instabilidade. Observa-se que as medidas adotadas são predominantemente superficiais, atuando mais no controle da erosão do que na melhoria das propriedades do solo. A drenagem, embora essencial, não elimina o problema da baixa resistência ao cisalhamento do solo. Assim, permanece o risco de instabilidade progressiva. O texto evidencia a limitação de soluções convencionais diante de solos frágeis e saturados. Fica implícita a necessidade de abordagens que atuem na melhoria efetiva do maciço.

O gerenciamento do tráfego durante a ampliação rodoviária

Em vias de alto volume de tráfego, a exigência de manter ao menos uma faixa em funcionamento limita intervenções extensas, inviabilizando soluções que demandem grandes escavações, longos períodos de execução ou exposição prolongada do subleito. Nestes casos, a obra deve ser conduzida com frentes curtas, execução rápida e recomposição imediata, reduzindo riscos à segurança e à estabilidade do maciço. O uso de desvios provisórios, duplicações temporárias e segregação física entre obra e tráfego é prática recorrente, mas não resolve o problema central que é a incompatibilidade entre métodos tradicionais de intervenção no solo e a necessidade da continuidade operacional. Do ponto de vista geotécnico, esta condição favorece soluções que atuem de forma localizada, rápida e com baixo impacto na superfície, per-

mitindo controle das deformações sem interrupção do tráfego. Métodos que promovam o geoenrijecimento do solo in situ, sem necessidade de grandes escavações, tornam-se mais adequados para este cenário. Em síntese, o gerenciamento do tráfego não é apenas uma questão logística, é um fator que define a viabilidade técnica da solução geotécnica adotada. Como conclusão, o estudo mostra que ampliações rodoviárias são altamente sensíveis à variabilidade do subleito e à integração entre o aterro existente e o novo. A principal causa de falhas não está na solução em si, mas na falta de diagnóstico adequado do solo e da estrutura existente. A uniformidade de comportamento, recalque e rigidez, entre pista antiga e

ampliada é o ponto crítico. Reforços triviais com geogrelhas, estacas e substituições, devem ser definidos caso a caso, considerando custo de ciclo de vida, não apenas custo inicial. A investigação geotécnica detalhada é indispensável, como sondagens, trincheiras e histórico construtivo. Juntas mal executadas entre aterros são origem frequente de patologias. A compactação é um dos fatores mais negligenciados e mais determinantes no desempenho. Deficiências de drenagem agravam recalques diferenciais e degradação do pavimento. Em síntese, a ampliação rodoviária não é uma extensão simples, trata-se de um problema de compatibilização geotécnica. Sem tratar o subleito, a tendência é transferência de problemas para o futuro.



Figura 6 - Corte vertical, no talude rodoviária, coberto com lona, extremamente perigoso e passível de problemas.

REFERÊNCIAS

- Roger Kim é engenheiro geotecnico. Trabalha com melhoramento de solos moles.
- Deschamps, R., Hynes, C., Bourdeau, P. (1999). Embankment widening design guidelines and construction procedures. Report FHWA/INT/JTRP-99/4, Joint Transportation Research Program.
- Ling, J., Qian, J., Huang, Q. (2007) Failure Mechanism and Design Criterion for Low-Volume Roads Subgrade Widening. Transportation Research Record, Low-Volume Roads 2007. Volume 2.
- Huang, X., Wang, H. (2009) Comparison between responses of reinforced and unreinforced embankments due to road widening. Southeast University, Nanjing, China, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Han, J., Oztoprak, S., Parsons, R. L., Huang, J. (2007). Numerical analysis of foundation columns to support widening of embankments. The University of Kansas, Istanbul University.
- Estakhri, C. K., Freeman T. J., Spiegelman, C. H. 2001 Density evaluation of the longitudinal construction joint of hot-mix asphalt pavements. Texas Department of Transportation.
- Samuli Tikkanen. Road Widening: literature review and questionnaire responses. Roadex.

iBSM INSTITUTO
BRASILEIRO
DO SOLO MOLE



○ Instituto Brasileiro do Solo Mole (IBSM) te ajuda a entender sobre solos moles.

Melhorar solos moles exige conhecimentos geotécnicos práticos e teorias sofisticadas. Cada obra é um caso específico que exige solução diferenciada.



PARCEIROS



GEOKON

SOLUÇÕES CAD BIM

TRUSTED MEASUREMENT.



ENGEGRAUT
ENGENHARIA ESTRUTURAL

