

# Soft Soil Brazilian Review

**04**

Ampliação de estradas.  
A difícil arte de evitar recalques diferenciais  
e movimentação lateral

**15**

Fatores que influenciam a surgência de  
recalques no aterro ampliado

**28**

Influência do modo e da largura da  
ampliação estradal no recalque diferencial  
posterior.

**26 - CONSULTA**

Com a presença de solos moles, quais são as  
formas de ampliar rodovias e o desenvolvimento  
do inerente recalque diferencial?



## AMPLIAÇÃO ESTRADAL

A difícil arte de evitar  
recalques diferenciais e  
movimentação lateral.



Ampliação estradal sendo executada na BR- 470, perto de Navegantes, SC.

### CARTA DO EDITOR

O trabalho de consolidação do solo mole é a solução natural para qualquer ampliação estradal. No Brasil, como em todo mundo, ampliam-se rodovias, com o propósito de aumentar sua capacidade de tráfego. É sabido que este tipo de obra, quando há presença de solos moles, provoca recalques diferenciais entre o aterro antigo e o novo, devido a consolidação diferenciada das camadas de solo mole, além de movimentos laterais, associado a trincas longitudinais, junto a região da emenda, devido a alteração em seu gradiente transversal. Observa-se, Brasil afora, obras de ampliação estradal com presença de solos moles, sem qualquer melhoramento do solo mole ou utilizando-se técnicas das mais díspares, seja com emenda ou separação de aterros, como precarregamento, colunas de brita, deep soil mixing e até aterro estaqueado, o que implica em mais recalques diferenciais associados, intensificando a gravidade do problema. Esta edição da SSBR, procura apresentar esta séria questão, baseada em investigação geotécnica de obras de ampliação, assim como em análises numéricas, desenvolvidas para analisar a resposta dos aterros e da fundação, causadas pela ampliação, incluindo recalques diferenciais, deslocamentos horizontais, a distribuição das tensões, a deformações nos aterros existentes e nos novos. Observa-se, na ampliação estradal, que a estabilidade do antigo e do novo subleito é um problema crucial, quando há solos moles, devido a deformações não coordenadas que, via de regra, acabam em rutura e no comprometimento da obra. Acreditamos, portanto, que os assuntos são de extrema relevância para nossos leitores.

Boa leitura.  
M.Sc. Joaquim Rodrigues.



### SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE

Rua Correia de Araújo, 12- Barra da Tijuca  
Rio de Janeiro/ RJ- Brasil- CEP 22611-070

Tel: (21) 3851-6218

### EDIÇÃO

DIRETOR EDITORIAL  
M.Sc. Joaquim Rodrigues

DIRETORES ADJUNTOS  
Engº Thomas Rodrigues  
Engº Roger Kim  
Engª Patricia Tinoco

PUBLICIDADE, ASSINATURA  
Cleide Ferreira

EDITOR DE ARTE  
Victor Peres

REPRINTS EDITORIAIS  
Mariana Tati

### FALE CONOSCO

softsoilgroup.com.br

@engegraut

(21) 3154-3250

atendimento@softsoilbrazilianinstitute.com.br

"Soft soil Brazilian Review" é uma revista digital com publicação bimestral. Receba notificação de nossa revista. Inscreva-se em: atendimento@softsoilbrazilianinstitute.com.br



A PRIMEIRA E ÚNICA REVISTA DIGITAL GEOTÉCNICA ESPECIALIZADA EM SOLOS MOLES.

# 31

EDIÇÃO- SETEMBRO-OUTUBRO 2023

## Sumário

**Ampliação de estradas. A difícil arte de evitar recalques diferenciais e movimentação lateral 04**

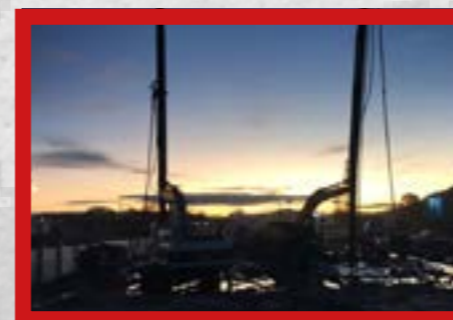
M. Sc. Joaquim Rodrigues

**Fatores que influenciam a surgência de recalques no aterro ampliado. 15**

Eng. Patricia Karina

**Influência do modo e da largura da ampliação estradal no recalque diferencial posterior. 28**

Eng. Thomas Kim



## Capa



Ampliar aterros estradals é, no final das contas, aumentar a largura do pavimento. O grande problema são os recalques diferenciais entre o trecho construído e o a construir, devido a fatores como a presença de solos moles, a diferença nos graus de compactação dos aterros, e nos níveis de consolidação do solo mole, além dos movimentos laterais devido a emenda inadequada entre aterros.

## Seções

Editorial 02

Consulta 26

Agenda 25

[softsoilbrazilianinstitute.com.br](http://softsoilbrazilianinstitute.com.br)

# AMPLIAÇÃO DE ESTRADAS

## A DIFÍCIL ARTE DE EVITAR RECALQUES DIFERENCIAIS E MOVIMENTAÇÃO LATERAL

Em todo o país, nestes últimos 10 anos, estão ocorrendo obras de ampliação de rodovias, sendo que muitas com presença de solos moles. Diversas rodovias ampliadas, pertinentes

a este contexto, apresentam problemas de recalques diferenciais na região entre a antiga e a sua ampliação. O que acontece, após o novo aterro estradal ser adicionado adjacente

ao antigo, é uma séria questão que precisa ser resolvida. Muitos pesquisadores compartilham a ideia de que, após décadas de consolidação das camadas moles,

a rodovia existente encontra sua estabilidade, enquanto a consolidação da fundação do novo aterro anexo, apenas começa. O recalque diferencial, entre o novo e o antigo aterro, cau-

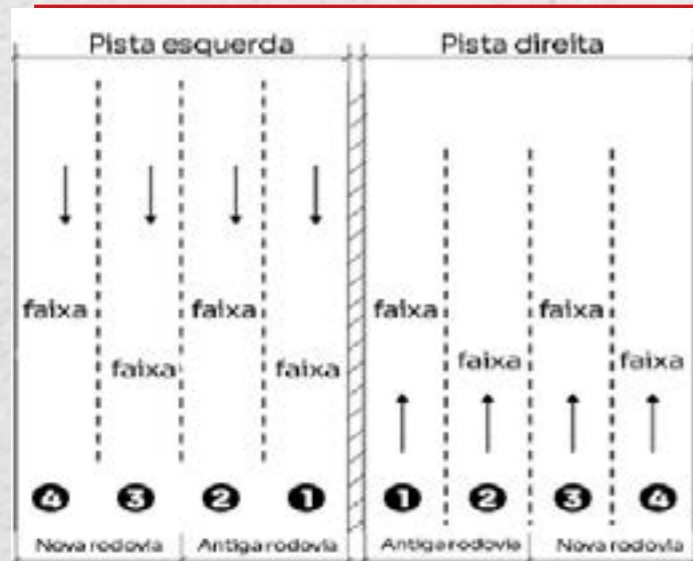


Fig 2 - Situação do processo de ampliação estradal

sam trincas na região de sobreposição, comumente associado a movimentação lateral do novo aterro. De um modo geral, as patologias existentes no pavimento, após as obras de ampliação, ocorrem particularmente na região do antigo pavimento e não sobre o ampliado. Ou seja, dá a entender que, de acordo com alguma condição especial, o novo aterro ampliado tem impacto significativo sobre a estrada existente. Objetivando-se conhecer estas crônicas patologias e seu mecanismo de formação, promovemos intensa investigação de campo, seja nas características da movimentação existente, seja nas camadas de solos moles e, claro, na solução empregada para melhorar o solo de fundação.

### A Rodovia Analisada

Trata-se de uma rodovia estadual, com cerca de 30km, sendo 11km assentada sobre solos moles. Esta rodovia foi construída em 1994, sendo que no trecho sobre solos moles, foi feito melhoramento de solos moles utilizando precarregamento com geodrenos. Com o rápido crescimento da região, o governo decidiu ampliá-la em 2010.



O novo aterro de ampliação da rodovia, foi concebido após o "tratamento" do solo mole de fundação, com colunas de solo cimento e capitéis, conforme figura a seguir, tendo diâmetro de 50 cm. Após a execução das colunas, executou-se plataforma de transferência de carga, com camada de material granular e geogrelha, de acordo com a figura ao lado. O projeto foi finalizado em dezembro de 2012.

Figura 3 - Projeto, com corte na rodovia ampliada.

capitéis, conforme figura a seguir, tendo diâmetro de 50 cm. Após a execução das colunas, executou-se plataforma de transferência de carga, com camada de material granular e geogrelha, de acordo com a figura ao lado. O projeto foi finalizado em dezembro de 2012.

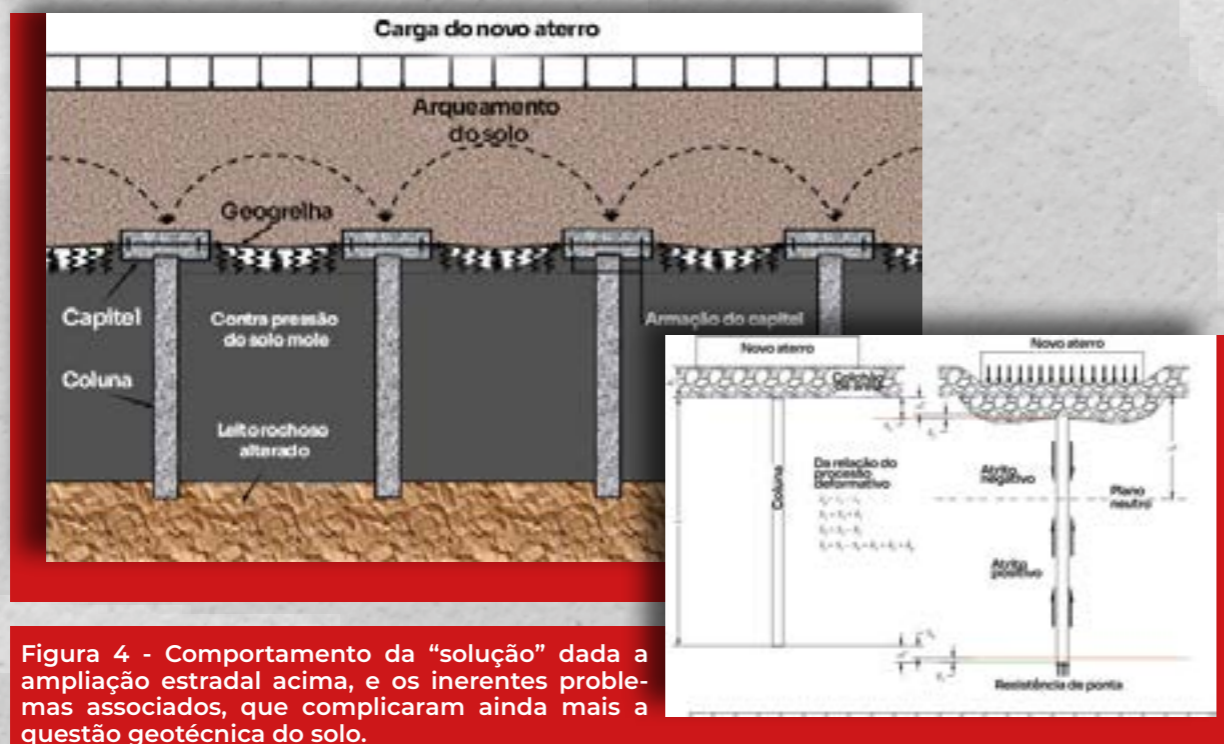
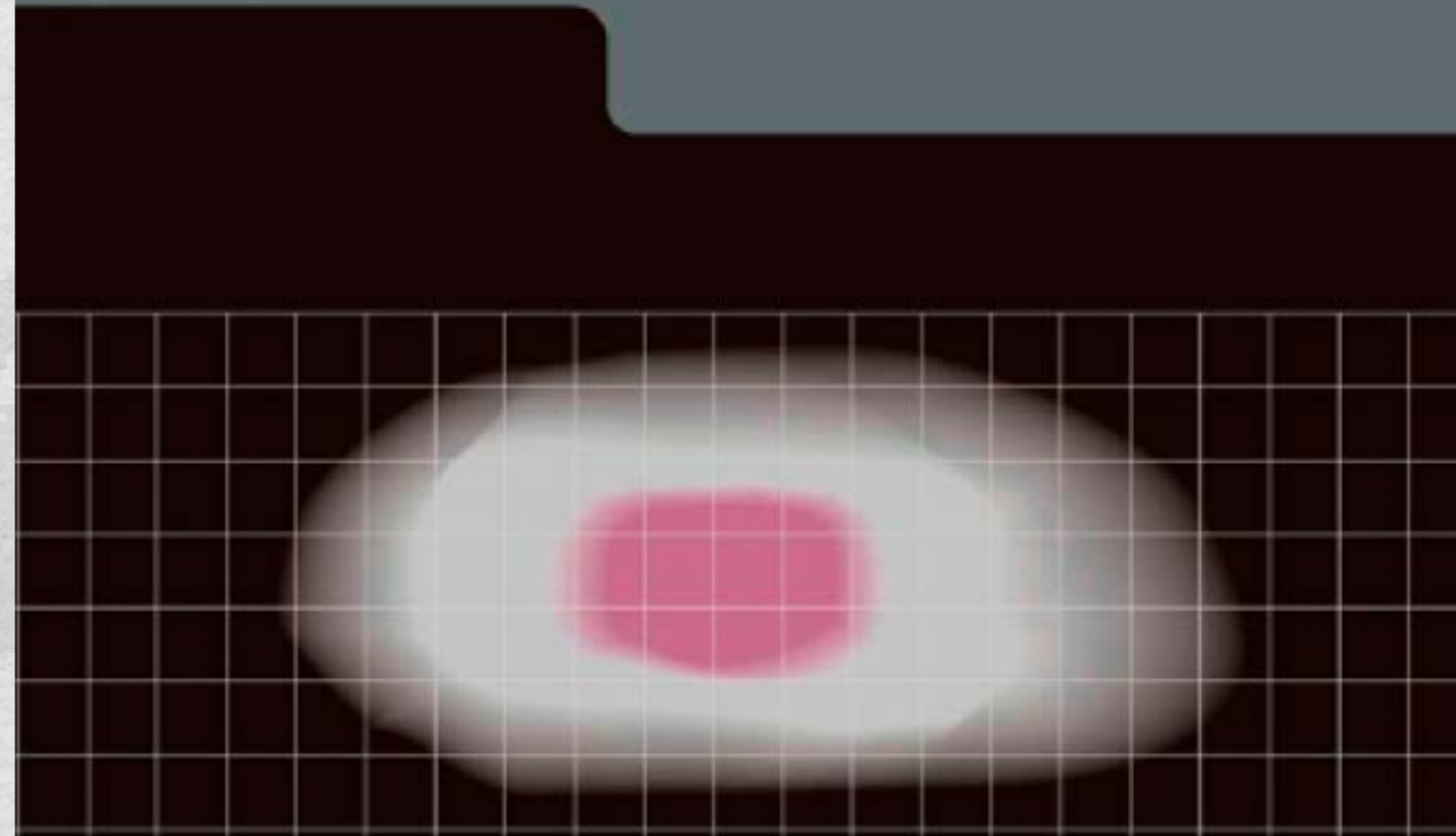


Figura 4 - Comportamento da "solução" dada a ampliação estradal acima, e os inerentes problemas associados, que complicaram ainda mais a questão geotécnica do solo.

# contaminação de solo?

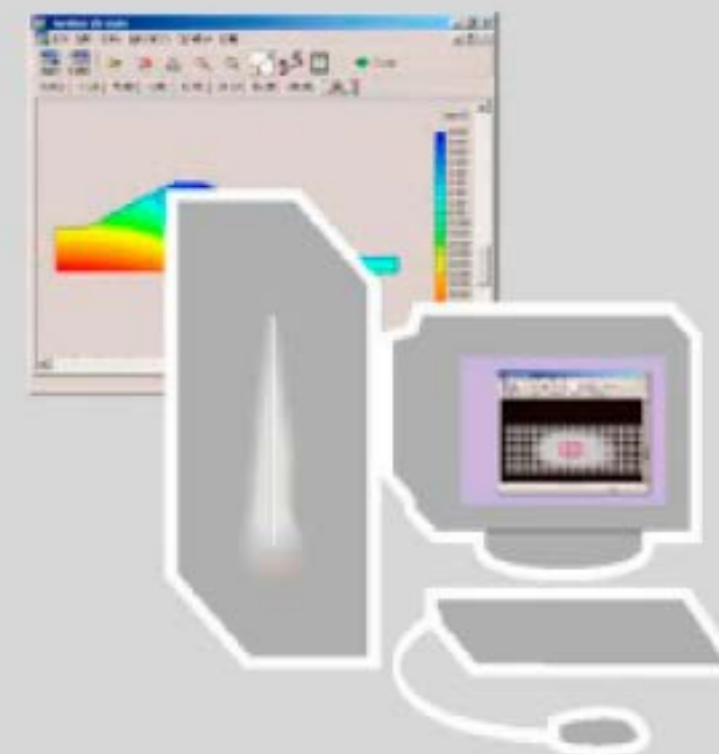


O segredo do tratamento de solos contaminados está na adequação do processo de compressão, confinamento e adensamento do solo, analisado com piezômetros e imagens tomográficas antes e depois.

Confie em quem tem experiência.



[www.engegraut.com.br](http://www.engegraut.com.br)



## Os problemas subsequentes na rodovia.

O que aconteceu, a seguir, foram patologias diversas, na forma de trincas, tanto no novo pavimento, como no antigo, após a obra de ampliação estradal. De acordo com a investigação, levantou-se quatro tipos de patologias no pavimento, conforme a figura a seguir.



**Figura 5** – quatro tipos de patologias no pavimento. **a)** Recalques diferenciais transversais com trincas. **b)** Recalques diferenciais longitudinais com trincas. **c)** Trincas com disposição em rede. **d)** Micro trincas inferiores a 5mm.

As patologias nas faixas 3 e 4 (ampliadas) totalizam 26 e 10% respectivamente. A proporção dos problemas, nas faixas 1 e 2 (estrada original) totalizam 47 e 23% respectivamente. A proporção dos recalques, com trincas longitudinais e transversais, foi de 42 e 34%, respectivamente evidenciando tratar-se das principais manifestações patológicas. Após a surgência destas sérias patologias, o pavimento asfáltico, nestes trechos, foi trocado. Durante a remoção do pavimento asfáltico avariado, observou-se que as trincas existentes na superfície, na verdade, escondiam grande e severo processo de tensões no subleito, evidenciado por grandes aberturas e cavidades, da ordem de 10cm de profundidade e superiores a 1,50mts.

## Formação das patologias na ampliação

A singularidade ambiental e as particularidades geotécnicas do solo de fundação, de cada rodovia, antes de se projetar uma ampliação estradal, são etapas importantes quando se deseja impedir o mecanismo de formação das patologias. De acordo com as sondagens existentes, o solo de fundação é composto por diversas camadas de solo mole - muito mole, chegando a 20mts de profundidade, havendo presença de matéria orgânica, possuindo alto teor de umidade, baixa resistência mecânica, alta sensibilidade e alta compressibilidade. Há relatos de que a antiga rodovia, antes da ampliação, também apresentava recalques diferenciais, motivado pelo fato de que o melhoramento do solo mole, com precarregamento e geodrenos, só é eficiente para pouca profundidade de solo mole, normalmente até 5 ou 7 mts. A partir daí, as tensões de compressão verticais, provocadas pelo precarregamento, não atuam e, mais tarde, vêm a conta de consolidação mal tratada. A presença de matéria orgânica na argila mole, torna o



Fig 6 - Cavidades após a remoção do pavimento.

processo de sua consolidação primária ainda mais vagaroso e, particularmente, sua consolidação secundária. Em resumo, diversos trechos da rodovia original foram locados sobre solo mole - muito mole orgânico. O precarregamento com geodreno não foi solução adequada, deixando a fundação fraca e relativamente instável, mesmo após 16 anos de consolidação (superficial). A construção do novo aterro, adjacente, utilizando previamente técnica de "melhoramento de solo mole" com base em colunas, que não melhoram, apenas procuram transferir a carga para camadas mais profundas, deixando o solo mole à sua volta, exacerbou o processo deformativo latente, estabelecendo novos e intensos processos de recalque diferencial, que acabaram refletindo no pavimento asfáltico, impondo trincas, fraturas e deslocamentos do concreto asfáltico.

## Análise Numérica

Objetivando-se comprovar a exatidão dos fatos e argumentos apresentados, de modo a se compreender as características do crônico processo deformativo imposto, após a ampliação estradal, realizou-se análise numérica com o programa Abaqus. A dimensão longitudinal da rodovia é muito maior que a transversal. O problema da deformação espacial, pode ser simplificado, aproximadamente, como deformação plana. A dimensão geométrica do modelo está de acordo com a figura a seguir, onde observa-se as profundidades das camadas de

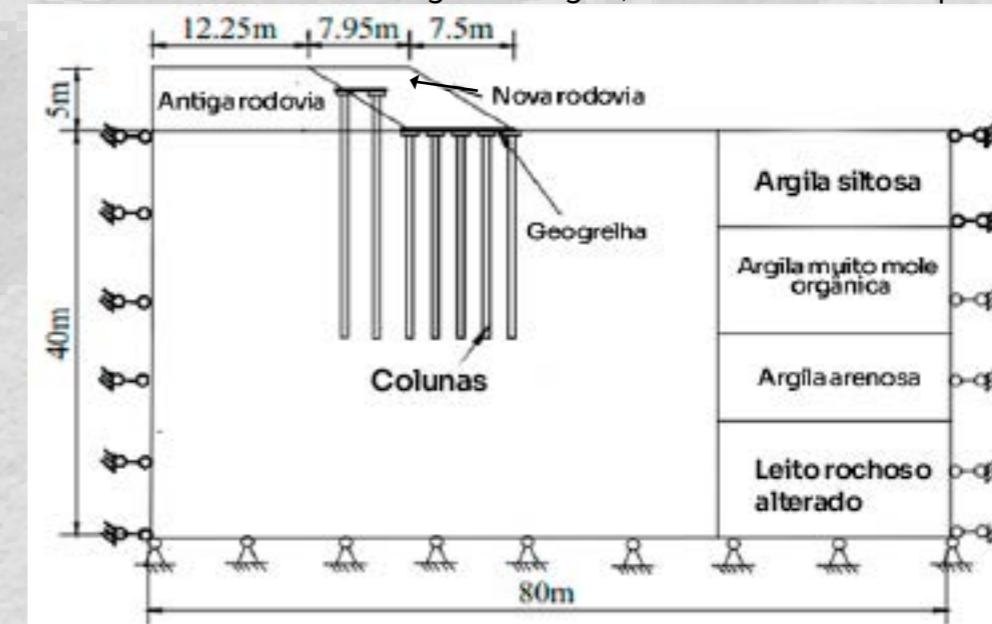


Fig 7 – dimensão do modelo numérico (sem escala)

de argila siltosa, argila muito mole orgânica, argila arenosa e, por fim, o leito rochoso alterado, a 8mts, 10,80mts e 14m, respectivamente. A condição de contorno é definida com o fundo limite fixado em ambas as direções horizontal e vertical. Os limites direito e esquerdo são fixos na direção horizontal, ficando livres na direção vertical. Os parâmetros das camadas do solo, utilizados no modelo numérico, foram utilizados com base nas sondagens do local e de dados do solo mole da região. Utilizou-se o modelo elasto-plástico Drucker-Prager (D-P), para simular a camada de argila orgânica mole - muito mole. Utilizou-se o modelo mohr-coulomb (M-C) para as outras camadas de solos e o modelo elástico linear para as colunas e a geogrelha. As tabelas 3 e 4 abaixo, apresentam os parâmetros do solo e das colunas utilizadas no modelo. O progresso da análise do modelo numérico foi definido assim:

**A construção do novo aterro foi feita adjacente à rodovia existente, dividindo-se em 5 camadas de espessura igual a 1m.**

**Após o lançamento de todas as camadas, houve um período de 3650 dias para o processo de consolidação do solo de fundação.**

**Após o preenchimento de cada camada, esperou-se 30 dias antes de começar a subsequente.**

As alterações no modelo, durante todo o progresso da análise, são apresentadas na figura a seguir, ficando evidente as simplificações em relação ao progresso real da construção. O tempo de lançamento, de cada camada, pode não ser rigidamente de 10 dias, podendo variar de 1 a 2 dias mais ou menos, no entanto, o tempo total da construção do modelo foi o mesmo da condição real. Os parâmetros do solo e as colunas utilizadas no modelo, apresenta abaixo nas duas tabelas

**A análise total do modelo durou 3820 dias.**

**O preenchimento de cada camada durou 10 dias**

# Diminuir as 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 no 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 tempestade em tempo real.



<https://www.nimbusmeteorologia.com.br/>

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

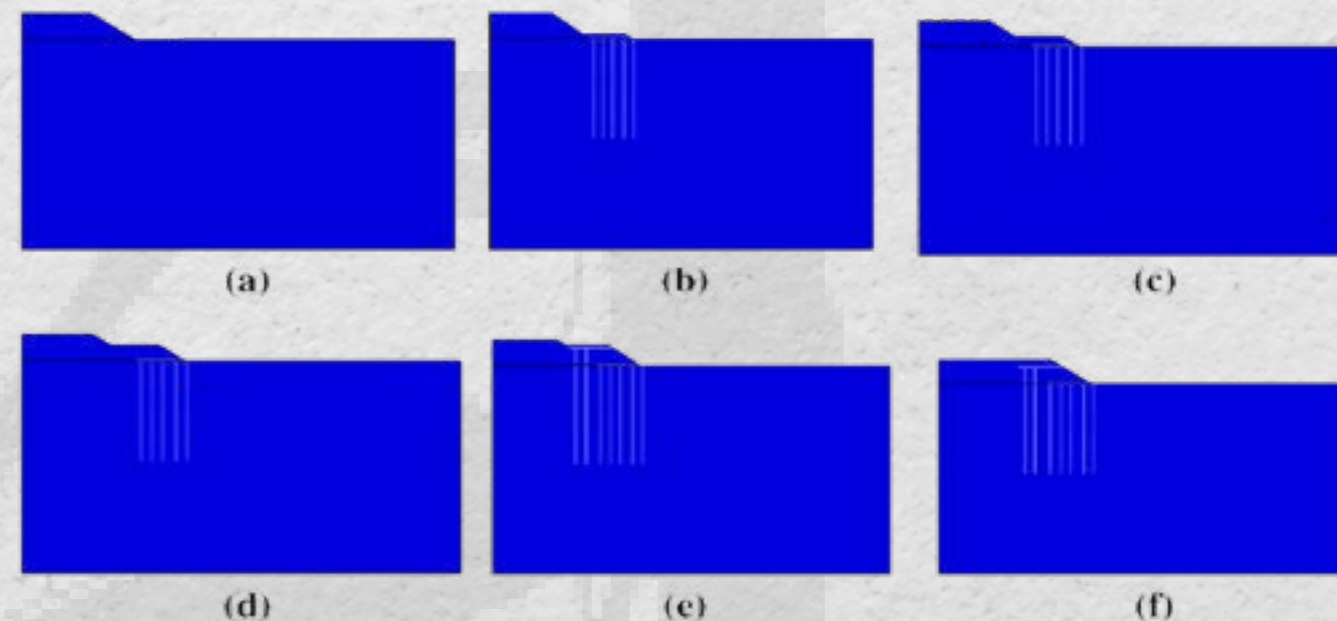


Fig 6 - Alteração do modelo durante análise.

a) origem , b) Adição da primeira camada, c) Adição da segunda camada, d) Adição da terceira camada, e) Adição da quarta camada, f) adição da quinta camada.

Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c$ (kPa)	$f$ (°)	$E$ (kPa)	$\mu$	$\beta$ (°)	$k_v$ (10 <sup>-3</sup> m/d)	$k_h$ (10 <sup>-3</sup> m/d)	$\psi$ (°)
Argila muito mole orgânica	17.6	8.0	24.0	2500	0.35	35.3	0.6	0.3	35.3

### Propriedades da argila orgânica do modelo

Material	$E$ (MPa)	$\mu$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c$ (kN)	$f$ (°)	$k_v$	$k_h$
						(10 <sup>-3</sup> m/d)	
Material do aterro	30	0.3	20.5	-	-	-	-
Geogrelha	38,700	0.25	-	-	-	-	-
Argila siltosa	12	0.36	19	5	25	16	19
Argila arenosa	26	0.36	16.5	8	20	100	100
Leito rochoso alterado	50	0.3	20	1	30	1200	1200
Colunas	150	0.15	24	-	-	-	-

### Parâmetros de cálculo de cada material

Antes de se iniciar a ampliação estradal, instalou-se placas de recalque no pé do talude da estrada antiga, conforme figura a seguir.

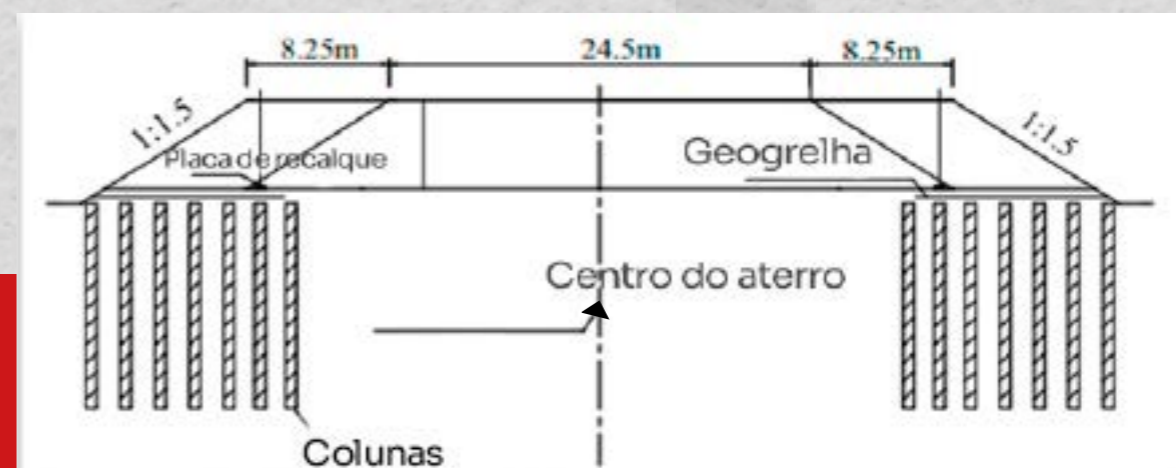


Fig 7 - Localização das placas de recalque.

Durante toda a obra de ampliação estradal, monitorou-se o processo de recalque, o que possibilitou garantir a confiabilidade do modelo numérico, nos trechos analisados, conforme figura ao lado. O desenvolvimento dos recalques, conforme figura ao lado, sua tendência e os valores previamente estimados, mantiveram-se consistentes entre si, o que afere o modelo numérico empregado. Na figura mais abaixo, está o diagrama que mostra grandes recalques tanto na superfície da antiga estrada, quanto da nova, após a obra de ampliação. A figura ao fundo, já mostra o desenvolvimento do recalque, em três posições diferentes, na superfície do pavimento. Este diagrama mostra, também, que o tempo de duração do processo de recalque, durante e após a obra de ampliação estradal é extremamente longo, da ordem de 3,5 anos (após a ampliação) A figura, na pagina 13 mostra, de maneira interessante, o processo de recalque que se instalou na superfície do novo aterro, após o lançamento e a compactação de cada camada, ficando evidente que a fundação da antiga estrada perdeu a (pouca) estabilidade que, de certa forma, existia, durante e após a ampliação estradal. O que se conclui, após o levantamento do dado do recalque, pertinente a esta rodovia, e sua ampliação, é o seguinte:

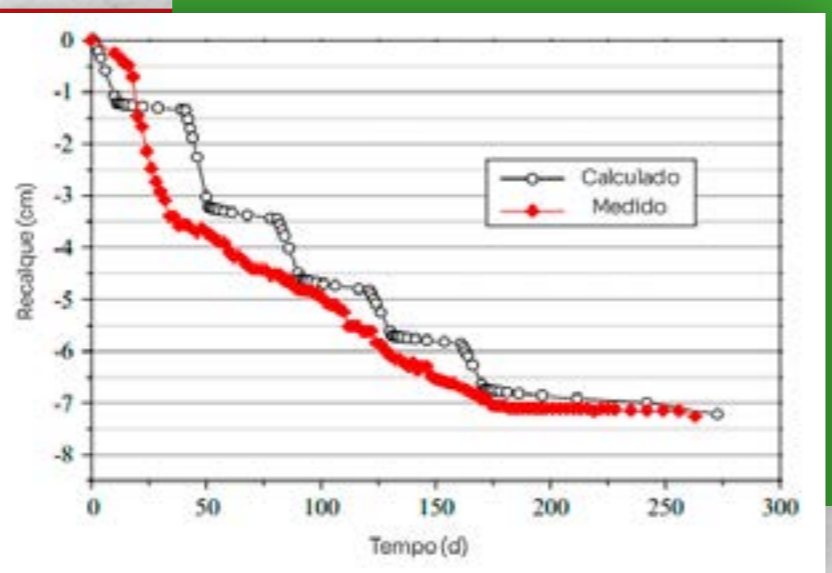


Figura 8 - Valores calculados e medidos do processo de recalque.

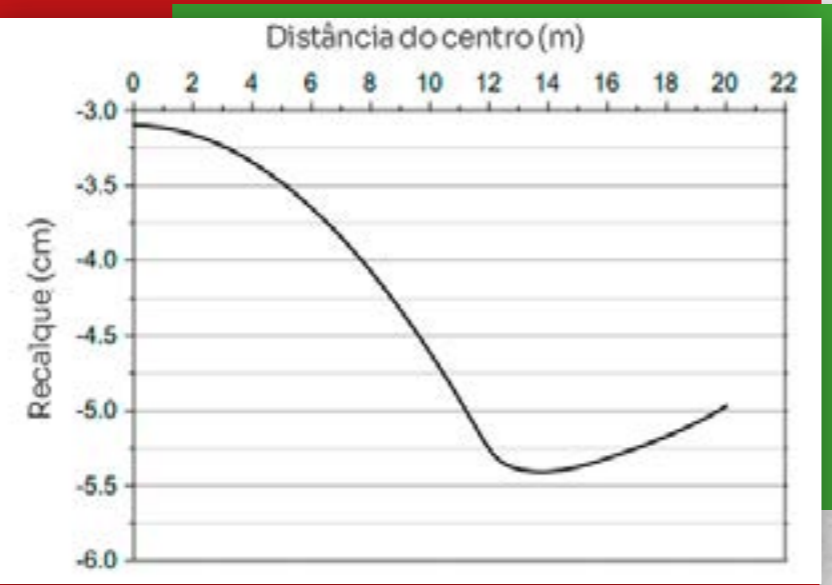


Figura 9 - Recalque final dos pontos na superfície do aterro.

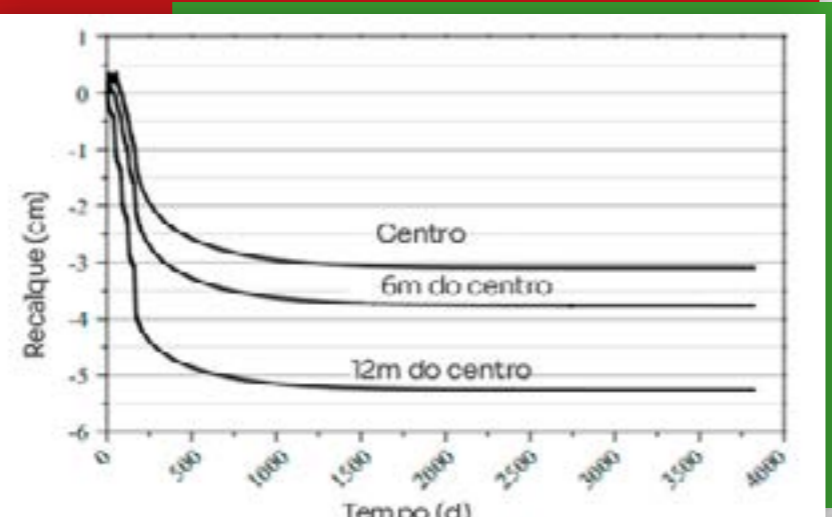


Figura 10 - Curvas tempo - recalque na superfície do aterro.

1 Toda e qualquer obra de ampliação estradal necessita analisar, previamente, a condição geotécnica da antiga rodovia, assim como o impacto da nova.

2 Se necessário for, dever-se-á melhorar efetivamente o solo de fundação, readequando-o às novas cargas. A única maneira será finalizar o processo de consolidação pendente, com geoenrijecimento e não com soluções inespecíficas a base de colunas.

3 A presença de solo mole, sob a área a ser ampliada, deve ser motivo de melhoramento, readequando-o, inclusive com o mesmo nível de rigidez da antiga, o que é certificado com tomografia do solo com imagem e pressiometria

# FIQUE POR DENTRO DE TODAS AS NOVIDADES DO MEIO GEOTÉCNICO SOLICITANDO SEU WEBNAR

## Conhecimento

Mantenha-se atualizado em relação às tecnologias de melhoramento de solos moles.

## Comodidade

Acesse nossa plataforma de ensino à distância, em seu computador, tablet ou smartphone.

## Feedback

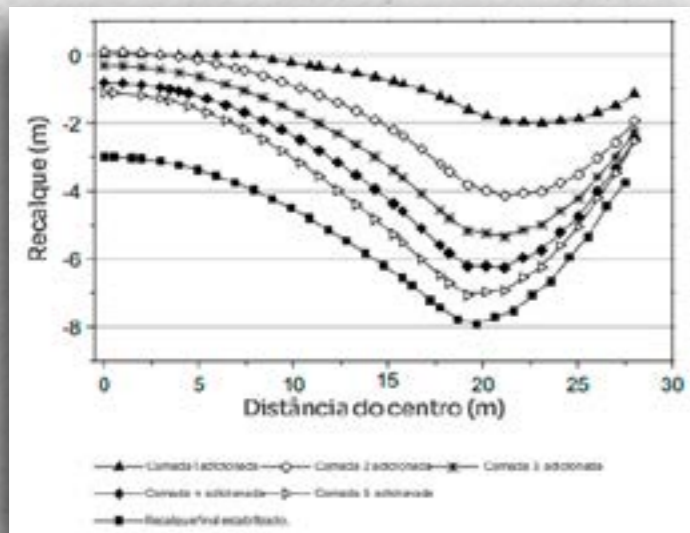
Tire todas as dúvidas com profissionais do mercado, gratuitamente.



Solicite seu webinar através do numero: (21) 99359-9105

Para maiores informações, acesse: <http://www.softsoilgroup.com.br/webinar> ou envie um e-mail para: [atendimento@softsoilgroup.com.br](mailto:atendimento@softsoilgroup.com.br)





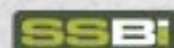
4 Efetivamente, as novas cargas, pertinentes à ampliação estradal, impactam no solo de fundação da antiga rodovia e, claro, no da nova também, podendo causar recalques diferenciais, que se traduzem em trincas e fraturas nos pavimentos novo e antigo.

5 Casos em que a antiga rodovia apresenta solo de fundação estável, e o solo mole de fundação, da ampliação estradal é “tratado” com colunas, ficando o solo mole a sua volta, haverá recalques e trincas, com valores máximos, na antiga rodovia aproximando-se da nova.

6 Casos em que a antiga rodovia apresenta solo de fundação instável, com histórico de recalques, e o novo solo de fundação, pertinente a ampliação estradal é “tratado” com colunas, haverá recalques (e trincas) após a obra, com valores máximos, tendendo a alcançar o centro da antiga rodovia.

7 Uma ampliação estradal é uma obra geotécnica extremamente complexa, quando há presença de solos moles. A “solução” com colunas é completamente inadequada por razões óbvias, na medida em que objetiva, apenas, atenuar o efeito do natural processo de recalque que se desenvolve.

8 O complexo processo de recalques (e trincas) que tende a se instalar tanto no antigo quanto no novo aterro ampliado pode, efetivamente, ser controlado com o melhoramento efetivo de solo mole, com geoenrijecimento, em ambos os lados.



## Referências

- Joaquim Rodrigues é engenheiro civil M.Sc. formado no Rio de Janeiro em 1977 e pós-graduado pela COPPE na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Diretor do Soft Soil Group e da Engegrat Geotecnia e Engenharia, associada à ABMS e ao American Society of Civil Engineers desde 1994. Desenvolveu duas técnicas de melhoramento de solos moles, sendo motivo de patente o GEOENRIJECIMENTO, utilizada hoje em todo o Brasil. Possui experiência em mais de 1 milhão de metros quadrados em melhoramento de solos moles, em todo o país.
- Chen, K.; Wang, Y.; Wang, H.: Characteristics of main artery traffic volume. J. Chang’an Univ. Nat. Sci. Ed. 23(5), 74-78 (2003)
- 3. Huang, Q.; Ling, J.; Tang, B. et al.: Distress characteristics and mechanism in road widening engineering. J. Tongji Univ. 32(2), 197-201 (2004) (in Chinese).
- 4. Pedersen, A.G.I.H.; Broers, H.: The behaviour of soft subsoil during construction of an embankment and its widening. In: Leung, C.F., Lee, F.H. Tan, T.S. (eds.) Proceedings of the International Conference Centrifuge 94, vol. I, pp. 567-574. Balkema, Rotterdam (1994)
- 5. Wang, H.; Huang, X.: Centrifuge model test and numerical analysis of embankment widening on soft ground. In: Proceeding of the Eighth International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering, Beijing, pp. 548-553 (2004)

# FATORES QUE INFLUENCIAM A SURGÊNCIA DE RECALQUES NO ATERRO AMPLIADO



Figura 1 - Obra de ampliação estradal, com geoenrijecimento, na BR - 470, em Navegantes, SC



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](mailto:ofitexto@ofitexto.com.br) ou [atendimento@softsoilgroup.com.br](mailto:atendimento@softsoilgroup.com.br) ou pelo site [www.lojaofitexto.com.br](http://www.lojaofitexto.com.br)

Obras de ampliação estradal sobre solos moles, genericamente, promovem recalques tanto no novo aterro, como no antigo, causado por diversos fatores. Trata-se de um problema mundial, razão pela qual diversos pesquisadores, aqui e lá fora, avaliam os métodos de ampliação, a largura estendida, a altura do aterro, sua inclinação, o módulo elástico do solo do aterro, seu módulo de compressão, as técnicas (inespecíficas) de tratamento e, o claro, o melhoramento efetivo do solo mole. Diversos fatores e condições impõe, não só a ampliação estradal mas, também, a elevação do seu greide. Desta forma, para ampliar e elevar uma rodovia, necessita-se considerar o inevitável processo de recalque, que se impõe, tanto

para uma quanto para outra, não sendo demais fazer análise comparativa, com simulação numérica do recalque final e o deslocamento lateral na superfície do pavimento, como também o deslocamento para a condição conjunta de ampliação e elevação estradal. Uma outra condição interessante de análise, é a influência do tipo e condição do solo da região superior do aterro original, no processo de deformação (vertical e horizontal) do aterro elevado e ampliado. Neste artigo, utilizamos diversos casos de ampliação e elevação de rodovias como estudo de casos. Utilizou-se simulação numérica, por elementos finitos, para analisar o recalque total do aterro, considerando-se a ampliação e elevação simultânea, para apenas sua ampliação e para as duas condições, sob a influência de diversos fatores.

### Condições de cálculo

Considerando-se uma futura obra de ampliação, apenas a largura do aterro original é de 28mts e sua altura 4mts. Para o caso duplo de uma obra de ampliação e elevação do pavimento original, a altura do seu aterro é 3mts e a altura da região superior do subleito é 1m. A inclinação do antigo talude, como o do ampliado é exatamente o mesmo, 1:1,5. O aterro original foi ampliado para os dois lados, com largura de 7mts. A largura total calculada foi de 54mts e a profundidade de 20mts. Considerando-se a simetria do aterro ampliado para os dois lados empregou-se, para análise, metade da área de cálculo. O modelo de ampliação, desta rodovia, é apresentado a seguir.



Figura 1- Diagrama do modelo do aterro ampliado.  
A) Ampliação e elevação simultânea do pavimento original. B) Apenas a ampliação do pavimento original

ferência, justamente com a função potencial plástico. O processo de consolidação, do inerente recalque do aterro e do solo de fundação originais, foram concluídos. O contato entre o material do aterro (subleito) e o solo de fundação, foi considerado contínuo e interligado. Os lados esquerdo e direito do aterro ficam confinados horizontalmente, assim como a região inferior do terreno, que apresentam confinamentos horizontal e vertical, ficando apenas a superfície do aterro apresentando drenagem. O quadrilátero de deformação plano bilinear, de 4 nós, com integral reduzida e unidade controlada com ampulheta, determina parte do aterro, e o outro quadrilátero de deformação plana de 4 nós, com deslocamento bilinear e unidade de poropressão bilinear, regula parte do solo de fundação.

O material do aterro (novo subleito) e o solo de fundação, são materiais elastoplásticos, homogêneos, contínuos e isotrópicos. Utilizou-se o modelo constitutivo de mohr-coulomb como re-

## Analise do processo de recalque do aterro sob diferentes condições de trabalho.

As alterações do processo de recalque, visualizadas através da seção transversal do aterro ampliado, ao final da construção, é apresentado na figura a seguir:

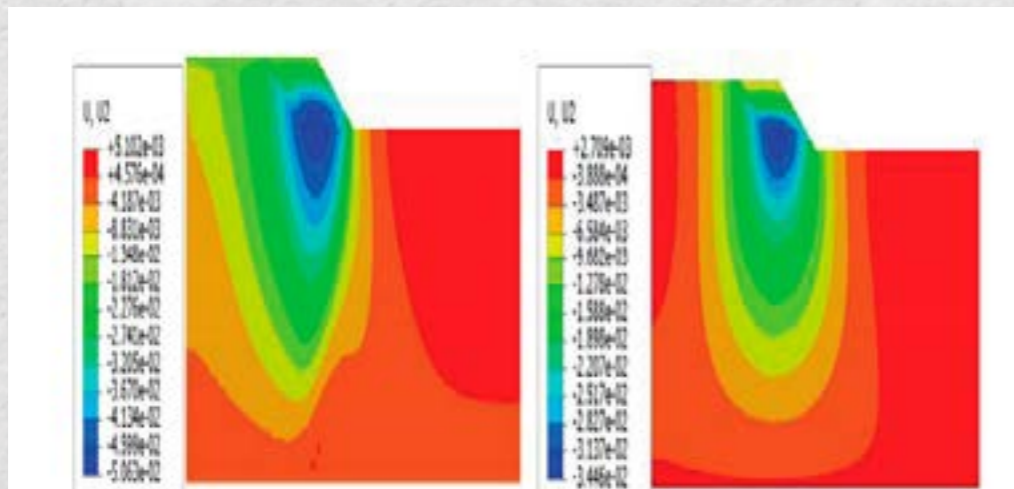


Figura 2- Diagrama da nuvem de recalque do aterro ampliado.  
A) Ampliação e elevação do aterro simultâneos.  
B) Apenas com ampliação do aterro.

Assim como o diagrama do processo de recalque do aterro ampliado, é apresentado na figura a seguir.

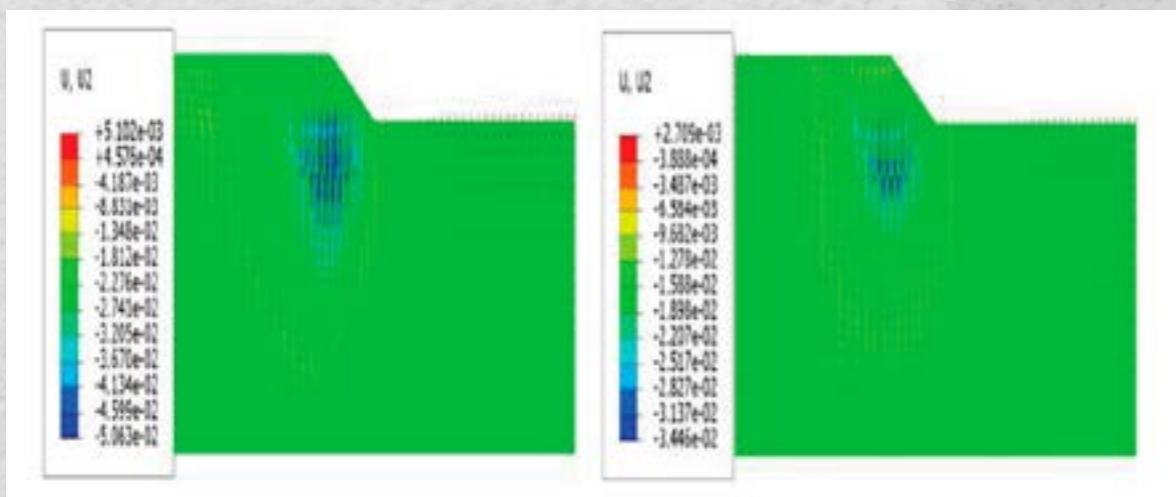
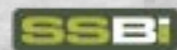


Figura 3- Diagrama do vetor do recalque do aterro ampliado.  
A) Ampliação e elevação do aterro original B) Apenas ampliação do aterro original



### Medidor de Recalques com Alta Sensibilidade

O medidor de recalques com alta sensibilidade consiste em uma série de vasos contendo sensores de nível de fluido interligados por um tubo cheio de líquido. Um vaso de referência é posicionado em um local de referência estável associado a sensores adicionais posicionados em locais diferentes, aproximadamente na mesma elevação. O recalque diferencial, ou levantamento, entre qualquer um dos sensores, resulta na variação de nível do líquido dentro dos tubos. O sistema é particularmente apropriado para situações críticas onde altas resoluções são necessárias. É possível detectar oscilações de elevação de até 0,02mm, aproximadamente.



Para maiores informações, acesse: [www.rogertec.com.br](http://www.rogertec.com.br) ou [atendimento@rogertec.com.br](mailto:atendimento@rogertec.com.br)

Fica evidente que, de acordo com as duas figuras anteriores, a carga do aterro ampliado promove um grande processo de recalque. A deformação do solo de fundação, através de suas diferentes camadas (profundidades) apresenta-se diferente para as duas condições de trabalho. Para a obra de ampliação e elevação simultânea, do subleito original, o processo de recalque desenvolvido tem a forma de bacia, o recalque máximo situa-se abaixo da parte ampliada do aterro, o recalque do solo de fundação tem a forma de um W e o recalque máximo está localizado no pé do aterro original. Se considerarmos apenas a obra de ampliação lateral da rodovia, e sua carga, o aterro original e o solo de fundação são elevados próximos ao seu centro, a parte ampliada do aterro sofre recalque, com valor máximo na seção transversal do aterro, próximo ao pé do aterro antigo. Observa-se, na figura a seguir, que a forma da curva do recalque total, na superfície do pavimento, para a obra de ampliação elevação simultânea,

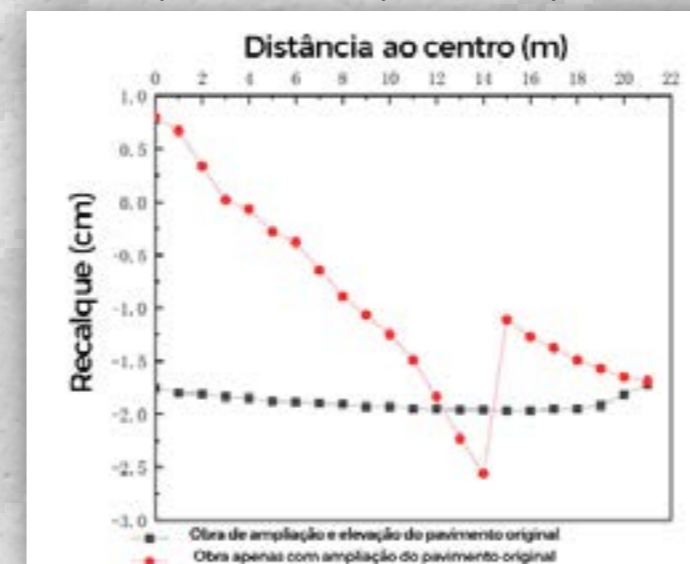


Figura 4- Diagrama do recalque total do aterro ao final da obra

O recalque adicional, na superfície do pavimento, apresenta desenvolvimento gráfico na forma de "colher", para as duas condições, assim como a posição do ponto de recalque máximo é diferente para ambas. Para a obra de ampliação e alteamento simultâneo do pavimento original, o ponto de máximo recalque esta na borda externa do acostamento do novo aterro. Diferentemente do que ocorre trivialmente, em obras de ampliação/ alteamento simultâneo, a de alteamento simples desenvolve um recalque máximo preferencialmente no pé do aterro original. O recalque máximo é de 3,36 e 4,93cm. Os valores do recalque, medidos e calculados são mostrados na figura abaixo, onde o recalque do solo, quando

assemelha-se a uma bacia. O processo de recalque primário aumenta e, depois, diminui. O recalque máximo é de 1,97cm, o recalque diferencial máximo é 0,21cm e a inclinação do talude aumenta 1,4%. O recalque total, na superfície do aterro de ampliação aumenta de forma significativa, na emenda do aterro original com o novo. O recalque máximo é de 2,35cm e a superfície do pavimento da rodovia fica seriamente propenso a danos naquela emenda. Se compararmos com a obra de ampliação e elevação simultânea da rodovia, o recalque total máximo, no pavimento da obra de ampliação, apresenta aumento de 19,3%, apenas, conforme pode ser visualizado na figura abaixo,

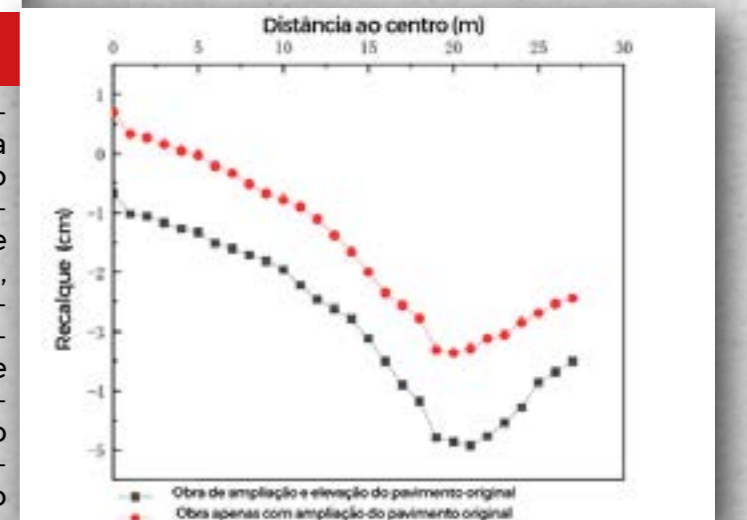


Figura 5- Diagrama do recalque ao final da obra.

submetido aos dois métodos é semelhante. Portanto, a análise numérica é precisa, podendo ser utilizada normalmente.

### Analise do recalque do aterro, influenciado por diferentes fatores e condições de trabalho

As condições básicas para a ampliação do aterro permanecem inalteradas, apenas sua largura é modificada, sendo que ambos os lados do aterro original são ampliados ao mesmo tempo para 3, 5, 7, 5 e 14mts. A curva de recalque total da obra de ampliação/ alteamento simultâneo, para diferentes larguras é apresentado na figura a seguir,

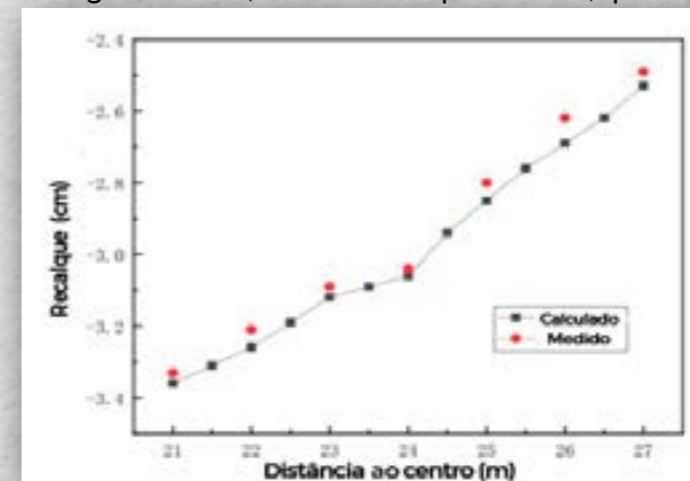


Figura 6 - Valores do recalque calculado e medido

# Você conhece as Aranhas Magnéticas?

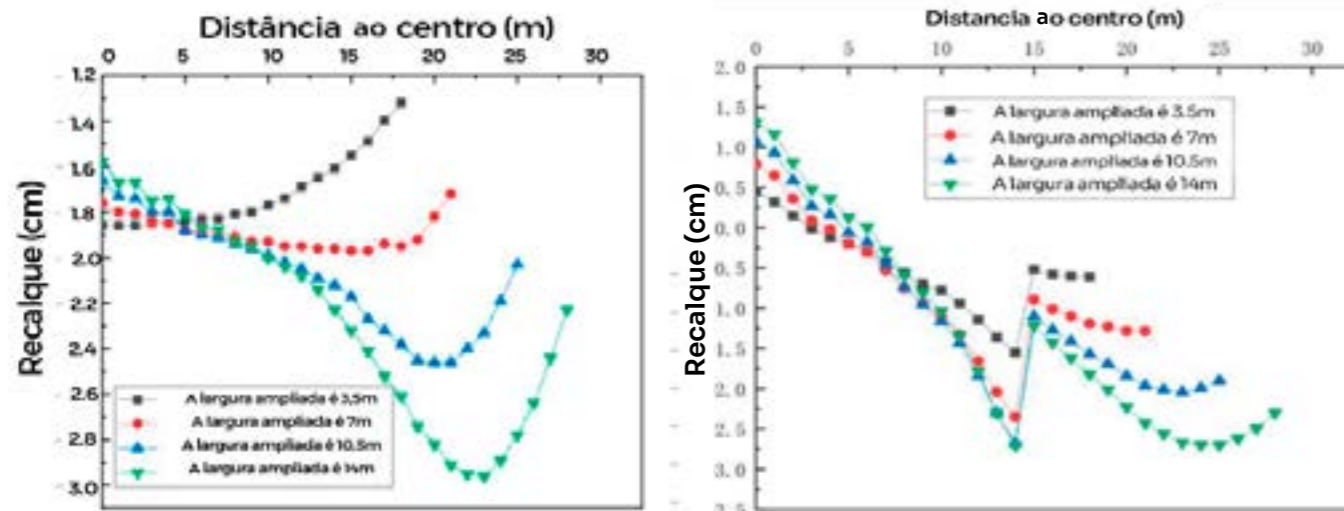


Figura 7 - Curva do recalque total para diferentes larguras ampliadas.  
A) Ampliação e alteamento simultâneos do pavimento original. B) Apenas ampliação do pavimento original.

Nota-se que quando a largura da ampliação é 3,5mts, a deformação global não coordenada da superfície do aterro é "côncava". Neste momento, as características das curvas do recalque do aterro, assemelham-se as do aterro recém construído. Assim, quando a largura do aterro é 7, 10,5 e 14mts a deformação na superfície do aterro (0 - 14mts), na posição elevada, é "convexa pra cima", a deformação não coordenada do aterro ampliado, é "côncava para baixo" e a deformação geral do aterro assemelha-se a um "N". Com o aumento da largura da ampliação do aterro, para ambos os lados do subleito original, o recalque entre 0 e 4mts, na superfície do aterro elevado, diminui gradualmente, aumentando da mesma forma na faixa de 4 a 14 mts. Por outro lado, aumentando a largura da ampliação, o valor máximo da deformação, do aterro, gradualmente aumenta. Quando a largura ampliada é 3,5mts, o valor máximo do recalque é 0,54cm e ocorre em seu centro. Quando é ampliada para 14mts, chega a 1,31cm, migrando para o acostamento. Na medida em que a largura do novo aterro aumenta, o valor máximo do recalque migra gradualmente para o lado do aterro ampliado, e esta superfície do aterro assemelha-se a uma "inclinação invertida". Na figura acima, verifica-se que em uma ampliação pura e simples, o aumento contínuo da largura do novo aterro, promove recalque gradual tanto no antigo como no novo aterro, e os valores máximos aparecerão na emenda, com uma curvatura aumentada. Verifica-se, também, que as maiores tensões estarão concentradas nas emendas dos aterros.

## A questão da altura do novo aterro

A condição básicas para ampliar um aterro permanecem iguais, apenas sua altura é alterada. Para o cálculo de uma obra de ampliação e elevação simultânea, do aterro estradal, a altura da parte superior do seu subleito é considerada com 1, 2, 3 e 4mts e, para uma obra de ampliação apenas, considerar-se-á a altura com 4, 5, 6, e 7mts. Na figura abaixo, apresenta-se o diagrama da curva do recalque total, para a obra de ampliação e alteamento. Simultâneo de um aterro estradal, observando-se que a deformação cresce em cada ponto da superfície do subleito, com o aumento da sua altura. Quando este subleito cresce 1, 2, 3 e 4mts, o recalque máximo aumenta para 1,97, 2, 2,4 e 2,15 cm, respectivamente. A posição do recalque máximo move-se do lado ampliado para o centro do subleito. Na figura abaixo,

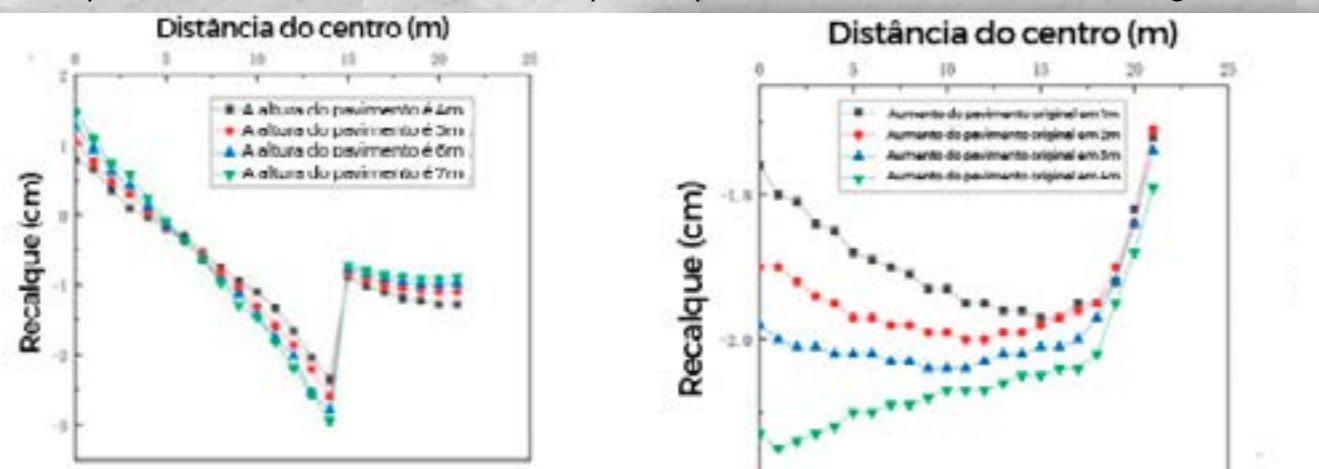
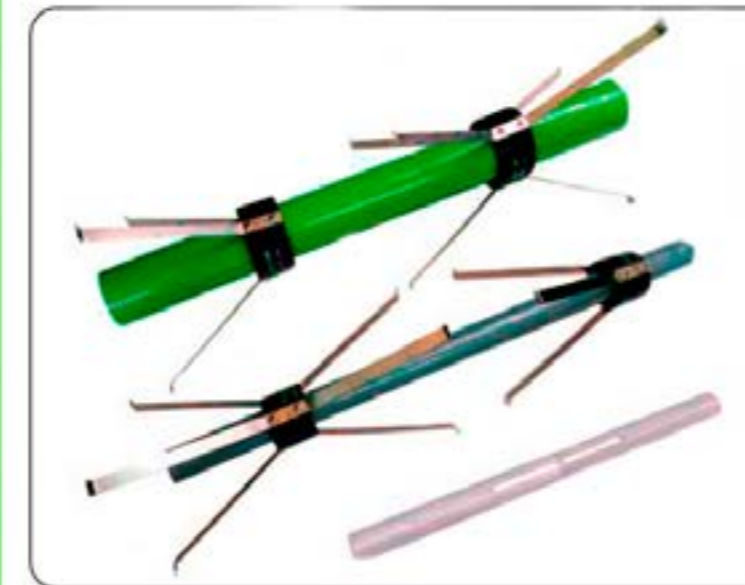


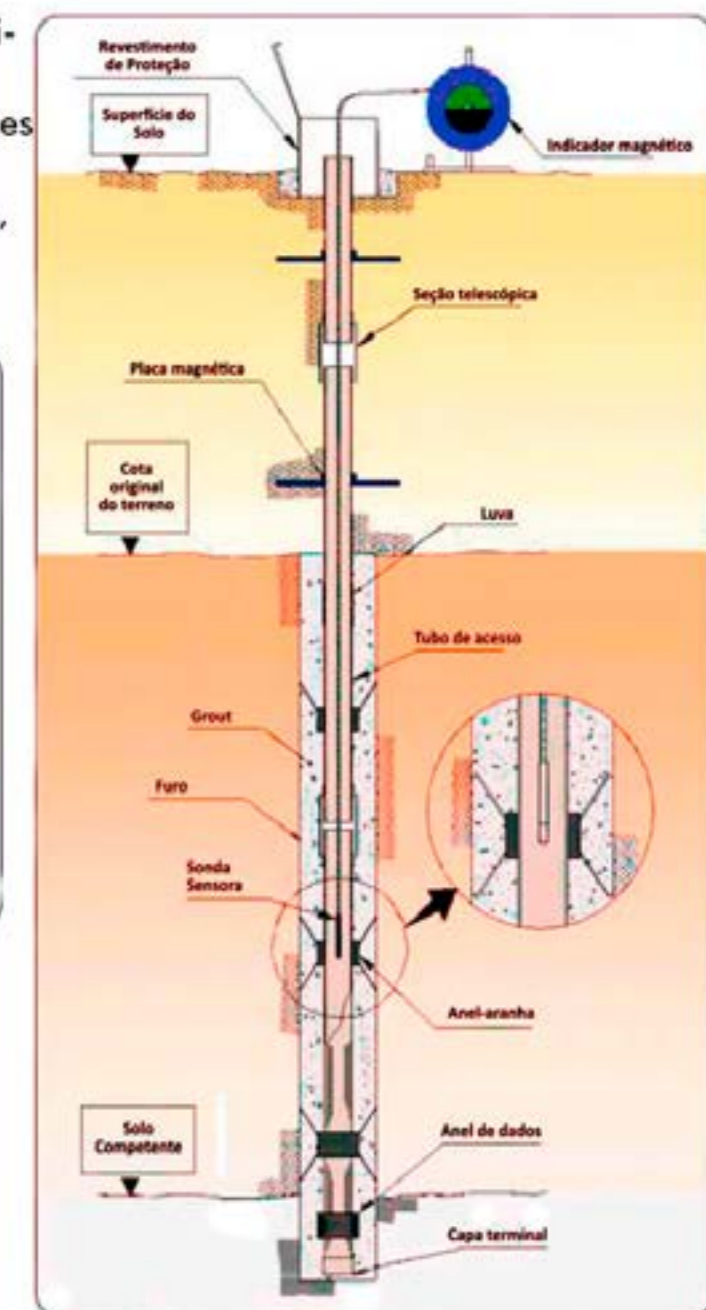
Figura 8 - Curva do recalque total para diferentes alturas do talude.  
A) Ampliação e elevação simultâneos do pavimento original. B) Apenas ampliação

O acompanhamento do recalque em profundidade possibilita, além da definição direta das camadas de fundação, que controlam recalques do aterro, ou de uma construção, quantificar, no campo, os parâmetros do solo, tal como  $c_v$ , que controlam sua evolução.



Em profundidade, os deslocamentos verticais são quantificados a partir da instalação de aranhas magnéticas, também conhecido como sensores magnéticos, que possuem forma de um cilindro vazado, instalados em tubos guia de PVC que, por sua vez, são instalados em furos de sondagem previamente executados.

Durante a instalação desses sensores, as hastes são fechadas e amarradas (laço) por um fio de plástico, o que permite fazer o deslocamento do instrumento, pelo espaço entre as paredes do tubo guia e do furo, até a profundidade definida em projeto, quando, o laço é solto e as hastes se abrem, fixam-se no solo mole adjacente. O acompanhamento dos deslocamentos é feito por meio de um torpedo que, no interior do tubo guia, acusa a presença do sensor quando passa na profundidade em que este encontra.



Considerando-se uma obra de ampliação, apenas, observa-se um levantamento seguido de recalque na superfície do subleito, para diferentes alturas. Este levantamento ocorre no centro do subleito, e sua intensidade cresce com o aumento da sua altura. Quando esta altura vai de 4 para 7mts, o levantamento cresce de 0,79 para 1,45cm, e o recalque máximo ocorre na emenda dos dois aterros, crescendo gradualmente com o aumento da altura do subleito. O recalque máximo varia de 2,35, 2,59, 2,79 e 2,98 com respectivamente. Quando a elevação do subleito for menor que altura original, as tensões adicionais concentrar-se-ão, principalmente, na região da emenda (14mts) e, quando forem maiores, as tensões agrupar-se-ão em torno do centro do subleito. Para uma obra de ampliação simples, as tensões adicionais acumular-se-ão na emenda do novo aterro com o antigo.

## Os taludes do aterro

Aqui, também, a condição básica para ampliar um aterro estradal permanece inalterada, apenas os taludes do novo aterro são modificados. Nesta análise, considerar-se-á as inclinações de 1:1, 1:1,5 e 1:2. O diagrama da curva do recalque do subleito, para diversos taludes impostos, ao final de uma obra de ampliação/ elevação, é apresentado na figura a seguir.

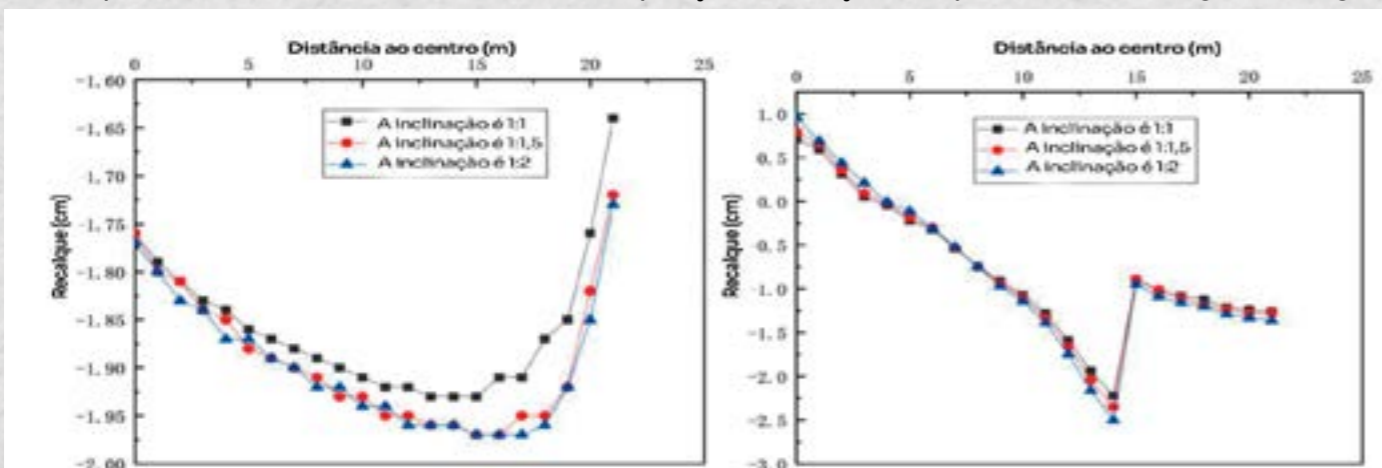


Figura 9 - Curva do recalque total para diferentes inclinações do talude.

A) Ampliação e elevação simultaneos do pavimento original. B) Apenas ampliação

Observa-se que aumentando a inclinação do talude do novo aterro, o recalque total, para as duas condições de trabalho, apresenta tendência de crescer. Em obras de ampliação/ elevação simultânea, com talude de 1:1, no novo aterro, ocorrerá um recalque máximo de 1,93cm. Já um talude de 1:2, induzirá um recalque máximo de 1,99cm. Aumentando-se os taludes de 1:1, para 1:1,5 e de 1:1,5 para 1:2, o recalque máximo aumenta de 2,07% e 0,51%, respectivamente. Para uma obra de ampliação apenas, se impormos uma inclinação no novo talude de 1:1, o recalque total máximo será de 2,22cm e o recalque diferencial máximo será de 2,17cm. Quando o talude do novo aterro for 1:1,5, o recalque total máximo será 2,35cm, havendo

um aumento de 5,86% e o recalque diferencial máximo será de 2,33cm, impondo um aumento de 7,37%. Quando o talude do novo aterro for 1:2, o recalque total máximo será de 2,5cm e o recalque diferencial máximo será de 2,49cm, ou seja, terá um aumento de 6,87%.

## O solo do novo aterro.

Aqui, também, a condição para ampliação do aterro estradal permanece inalterada, apenas o material para sua construção é modificado. Com base no tipo de material, a ser empregado na construção da ampliação estradal, utilizar-se-á argila siltosa, bica corrida e areia média, conforme tabela a seguir.

Nome	Módulo de elasticidade (MPa)	Coef. de poisson	Peso específico do solo (Kn/m³)	Coesão (Kpa)	Angulo de atrito interno (°)
Material do 1 aterro	900	0.25	21.3	-	-
Material do 2 aterro	21.5	0.21	19.4	24	42.5
Material Existente	32.5	0.3	18.2	31.5	32

Tabela - Parâmetros geotécnicos do material do aterro.

As curvas do recalque total do aterro, com diferentes materiais empregados, para a condição de ampliação e alteamento, são apresentados na figura a seguir, observando-se que cada material empregado é responsável por uma performance particular. O material a base de rocha (bica corrida) apresenta maior impacto no recalque total do novo aterro.

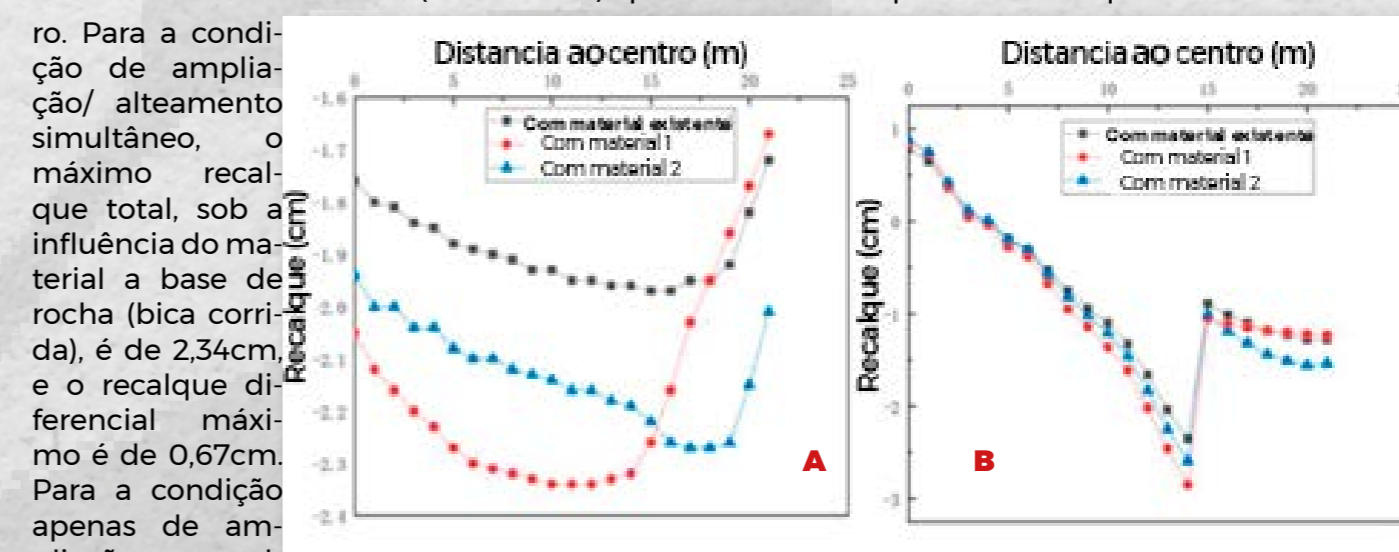


Figura 10 - Curva do recalque total para diferentes materiais empregados.

A) Ampliação e alteamento simultaneos do pavimento original.

B) Apenas ampliação

Para a condição de ampliação/ alteamento simultâneo, o máximo recalque total, sob a influência do material a base de rocha (bica corrida), é de 2,34cm, e o recalque diferencial máximo é de 0,67cm. Para a condição apenas de ampliação, o recalque total máximo, com este mesmo material, é de 2,85cm e o recalque diferencial máximo é de 2,81cm. Com base na simulação numérica, por elementos finitos, analisamos o recalque total para obras de ampliação e alteamento simultâneos, sem e com influência de diversos fatores e também, para a condição simples de ampliação apenas. As principais observações são os seguintes:

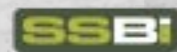
- O processo de recalque apresentou valores diferenciados para distintos greides analisados, para as duas condições de obra e, também, para o aterro e solo de fundação. Se compararmos a obra de ampliação com a de ampliação/ alteamento simultâneo, o recalque total máximo, deste último, será menor e o recalque total máximo do solo de fundação será relativamente maior. Se compararmos o valor simulado, do recalque total do solo de fundação, com o valor efetivamente medido, os valores do recalque, nos dois casos, foram relativamente próximos, o que demonstra a exatidão da simulação numérica por elementos finitos.
- Para duas condições de trabalho, o recalque total do aterro, cresceu com o aumento da largura. Para a obra de ampliação/ alteamento simultâneo, com o aumento da largura, o recalque total do aterro mudou, gradualmente, para o lado da ampliação do aterro. O recalque total do aterro, para a obra de ampliação, apenas, ficou concentrado no aterro novo com o antigo.

➤ Para as duas condições de trabalho, o recalque total do aterro cresceu gradualmente com o aumento da inclinação do novo aterro.

➤ Para as duas condições de trabalho, o recalque total do aterro, variou com a mudança dos materiais empregados, particularmente com o material granular, formado por rocha fragmentada (bica corrida), que teve maior impacto no recalque total.

## Referências

- Patricia Karina Tinoco é engenheira geotécnica. Trabalha com melhoramento de solos moles.
- Zhen, F., Xuancang, W. & Xingguang, C., Influence of expressway widening method on differential settlement of subgrade. *Subgrade Engineering*, (04), pp. 22-23, 2009. <https://doi.org/10.1109/mace.2010.5536446>
- [2] Hongying, F., Xuesen, S., Hanliang, B., Kun, D. & Liuhui, Z., Influence of widening modes on subgrade settlement of expressway. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 12(1), pp. 13-18+37, 2012.
- [3] Longqian, Z., Influence of expressway widening method on subgrade settlement. *Transpworld*, 7, pp. 18-19, 2019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/565/1/012107>
- [4] Jiangtao, D., Analysis of the influence of expressway widening method on subgrade settlement. *Transpworld*, 2, pp. 24-25, 2016. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.717.290>
- [5] Tan, Z., Youyun, L., Jideng, X., Zhanrui, L. & Kewen, L., Research on characteristics of uneven settlement of subgrade under different widening methods. *Highways & Automotive Applications*, 2, pp. 86-90, 2020.
- [6] Aurangzeb., Analysis on the way and its characteristics of road base widening in expressway widening project. *International Journal of Civil Engineering and Machinery Manufacture*, 1(2), 2016.
- [7] Sonja, G.-K., Review on the ways and characteristics of expressway subgrade widening. *International Journal of Intelligent Information and Management Science*, 5(3), 2016.
- [8] Zhen, F., Xuancang, W., Xingguang, C., Hongzhi, L., Jianping, S. & Lei, W., Differential settlement characteristics and influencing factors of widening subgrade. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 1, pp. 54-57, 2007.
- [9] Haiyang, Y., Finite element analysis of inconsistent deformation characteristics of new and original subgrade under different engineering conditions. *Urban Roads Bridges & Flood Control*, 1, pp. 116-119+12, 2014.
- [10] Yang, J., Xiaomou, W. & Yuanxin, H., Analysis of inconsistent deformation characteristics of new and original subgrade under different widening conditions. *Journal of China & Foreign Highway*, 30(5), pp. 46-50, 2010. layout: numerical analysis. *Soils Found.* 54,



Crie sua própria planilha de Dimensionamento de Geopneijecimento para solos moles no nosso site. Acesse a área de serviços para ter acesso a planilha.



para maiores informações acesse: [www.engsoft.com.br/geopneijecimento](https://www.engsoft.com.br/geopneijecimento)



### DAMSWEK 2023

Data: 27/08/2023

Local: Foz do Iguaçu, Paraná

### XXVI Congreso Argentino de Mecánica de Suelos

Data: 30/08/2023

Local: Argentina

### World of Digital Built Environment 2023

Data: 19/09/2023

Local: Estônia/ Finalândia

### 15th International ISRM Congress 2023

Data: 09/10/2023

Local: Áustria

### First International Conference on Geotechnics of Tailings and Mine Waste

Data: 24/10/2023

Local: Ouro Preto (MG)

### GEONORTE2023

Data: 07/11/2023

Local: Palmas (TO)

### 13° Simposio Internacional de Estructuras, Geotecnia y Materiales de Construcción

Data: 13/11/2023

Local: Cayos de Villa Clara

### GEOSUL 2023

Data: 22/11/2023

Local: Ponta Grossa (PR)

### SEFE 10

Data: 04/12/2023

Local: São Paulo

## Agenda de eventos geotécnicos

# 2023

**SSBI** SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE

## Com a presença de solos moles, quais são as formas de ampliar rodovias e como é o desenvolvimento do inerente recalque diferencial?

Nestes últimos 20 anos em todo o mundo, a demanda de veículos aumentou enormemente, construindo-se estradas para aumentar a densidade da rede rodoviária, ao mesmo tempo em que exacerbou-se a forma de ampliá-las. As estradas existentes estão sendo ampliadas tanto por um lado, como utilizando uma ampla faixa central separada, a exemplo das highways 15, nos EUA, e a 401 no Canadá. No entanto, aqui e em outros países, adota-se o modo de ampliação direta, para ambos os lados ou para apenas um lado da rodovia existente, de modo a se formar um único aterro, principalmente em áreas planas. Por outro lado, a ampliação estradal, utilizando-se aterros separados, é mais interessante quando da existência de morros ou onde houver complexidades e restrições nos locais, como estruturas, condições geológicas adversas e segmentos de estradas difíceis, sem entrada e saída, como na figura a seguir. Em tese, se compararmos a ampliação estradal com e sem emenda (aterros separados), este último pode evitar o risco de recalque diferencial entre o aterro novo e o antigo, o que dependerá de uma série de fatores, principalmente os pertinentes às características dos depósitos de solo mole. Efetivamente, deve-se evitar técnicas alternativas ou paliativas de "melhoramento de solos moles" a base de colunas, já que só aumentam ainda mais a probabilidade da surgência de recalques diferenciais, causados pelo peso das colunas, pelo solo mole envolvente e sua pouquíssima eficiência, em torno de 50%, já que não atuam na consolidação da argila mole, pelo contrário, seu mecanismo de trabalho, inespecífico ao ambiente, promove excessos de poropressão equivalentes a sobrecargas de aterro, o que representa recalques associados. Ou seja, criam-se colunas e piora-se o solo mole envolvente. O recalque por consolidação é extremamente complexo, por que é dependente do tempo e motivado por inúmeros fatores, peculiares a cada obra. Sua propriedade é o recalque diferencial, tipicamente causado por essas variações e fatores pertinentes a cada depósito de solo mole, cargas aplicadas assimétricas e combinações. A teoria da consolidação unidimensional, é, comumente, utilizada para quantificar o recalque por consolidação, em solos moles, submetidos a cargas de aterros. Esta teoria é muito prática para investigá-lo, no entanto é muito limitada, incluindo o pressuposto de que é submetido a pressões verticais uniformes sobrepondo grandes áreas. Para aterros estradais, nem sempre é o caso. A medida padrão, para eliminar o recalque diferencial entre o novo e o antigo subleitos, é o real e efetivo melhoramento do solo mole com geoenrijecimento, que promove rapidamente a consolidação da argila. Para a condição da rodovia antiga, que já apresenta histórico de recalques, evidentemente ter-se-á problemas já no início da construção. A solução será o melhoramento efetivo do solo, com geoenrijecimento, em toda a borda da antiga rodovia, de modo a formar uma parede de solo 100% consolidado, neutralizando os efeitos das deformações verticais, horizontais e a própria instabilidade causada pela ampliação. Para a ampliação estradal, com emenda de aterro, a influência do processo de recalque diferencial, em relação a antiga rodovia, e seu mecanismo, tem sido motivo de estudos por diversos pesquisado-

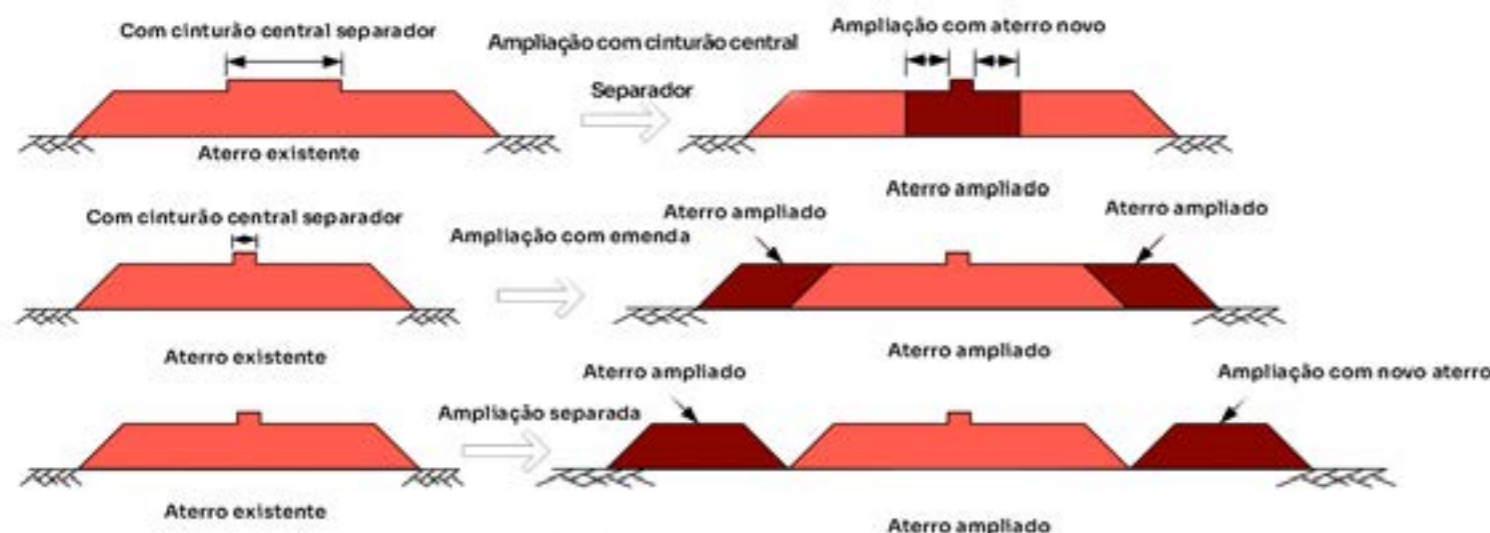


Figura 1 - Métodos de ampliar aterros estradais.

res entre eles, alle-rama, 1994, através de testes com modelos centrífugos, com aterros em escala real e simulação numérica. Por outro lado, na ampliação estradal, com aterros separados, os efeitos do recalque diferencial serão menores junto a rodovia existente, mas existirão. A utilização de parede com geoenrijecimento, tendo 3 ou 4mts de largura, ao longo da borda da antiga rodovia, estabelecerá uma divisória 100% consolidada e segura contra problemas na rodovia antiga.



Figura 2 - Obra de ampliação estradal com geoenrijecimento do solo mole no sul do país

SSBI

## Referências

- Allersma, H. G. B., Ravenswaay, L., & Vos, E. (1994). Investigation of road widening on soft soils using a small centrifuge. *Transportation Research Record*, 1462, 47-53.
- Brinkgreve, R. B. J. (2002). *PLAXIS Version 8 Material Models Manual*. Delft University of Technology & PLAXIS b.v., The Netherlands.
- Habib, H. A. A., Brugman, M. H. A., & Uijting, B. G. J. (2002, September). Widening of Road N247 founded on a geogrid reinforced mattress on piles. In *Proc., 7th Int. Conf. on Geosynthetics* (pp. 369-372). Nice, France: Swets & Zeitlinger.
- Han, J., Oztoprak, S., Parsons, R. L., & Huang, J. (2007). Numerical analysis of foundation columns to support widening of embankments. *Computers and Geotechnics*, 34(6), 435-448. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2007.01.006>
- He, L. D., Xu, Z. Z., Ma, X. H., He, P., Chen, X. T., & Zhou, M. W. (1998a). The application of high pressure jet grouting method in the settlement isolating wall project. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 18(2), 55-57. (in Chinese)
- Wang, H., & Huang, X. M. (2011). Stress and deformation due to embankment widening with different treatment techniques. *Journal of Central South University of Technology*, 18(004), 1304-1310. <https://doi.org/10.1007/s11771-011-0837-9>

Figura 1 - Ampliação de rodovia, com geoenrijecimento no solo mole no sul do país.

# INFLUENCIA

## DO MODO E DA LARGURA DA AMPLIAÇÃO ESTRADAL NO RECALQUE DIFERENCIAL POSTERIOR

A capacidade de transporte de nossas rodovias principais atingiu ou ultrapassou o nível de saturação, razão pela qual torna-se mais rápido e econômico ampliá-las. No entanto, na maioria destas estradas, há presença de solos moles, tornando complexo a emenda entre a antiga rodovia e a ampliação. O recalque, devido a consolidação do novo aterro, torna a emenda, com o antigo subleito, cheio de tensões desfavoráveis. Esta interface ou o modo de ligação, terá impacto na distribuição das tensões-deformações e na própria estabilidade da estrutura como um todo, tornando obrigatório estudo específico. Neste artigo, utilizaremos o software ANSYS, de análise por elementos finitos, de grande escala, para estabelecer o modelo do processo de recalque, que poderá se desenvolver na ampliação estradal. Os parâmetros foram determinados de acordo com a largura real do aterro, modo de ampliação e condições geológicas existentes em uma obra recente. O resultado do ANSYS é utilizado para comparar a ampliação unilateral e bilateral do aterro, objetivando-se analisar a influência da emenda e de sua largura no recalque diferencial. A realidade é que, em algumas obras, utiliza-se ainda técnicas de "tratamento" de solos moles, com base em colunas, pouco estáveis que, apenas, tentam transferir o futuro carregamento para camadas mais profundas, ficando todo o solo mole envolvente, o que garante pouca eficiência (de combate ao recalque), por volta de 50%, o que amplifica, enormemente, o processo de recalque diferencial entre o novo e o antigo subleitos, principalmente pelo pouco conhecimento da largura ideal, do modo de unir a ampliação e o inerente processo de recalque diferencial.

## O modelo de elementos finitos

Devido a complexidade dos fatores que influenciam o sério processo de recalque diferencial, que se desenvolve, e considerando-se os requisitos de simplificação e precisão do cálculo, propõe-se o seguinte modelo:

- 1 Considera-se o problema do plano, realizando-se a análise bidimensional por elementos finitos.
- 2 O solo é um material elasto-plástico. Assim, simular-se-á com o modelo de Drucker Prager.
- 3 A superfície de contato entre o antigo e o novo subleito é completamente contínua sem deslizamento.
- 4 Substitui-se a carga do pavimento pela carga de 1m de altura.
- 5 As condições de contorno são as seguintes: A base da fundação fica completamente confinada nas direções XY, e ambos os lados da largura da fundação são confinados na direção X.

Os parâmetros foram determinados de acordo com a largura real do aterro, modo de ampliação e condições geológicas de uma rodovia recém executada, cujo solo é argiloso, com ângulo de atrito interno entre 10 e 30 graus e o módulo de compressão, do solo de fundação, situando-se entre 3000 e 8000kpa. De acordo com o projeto, o módulo de compressão do novo subleito é de 40000kpa, e o da antiga rodovia será aumentado para 50000kpa. O cálculo e a análise de uma seção da obra de ampliação da rodovia, terá como propósito, a largura do subleito antigo com 26mts, uma altura de 8mts com ampliação lateral dupla, ampliando-se 8mts para cada lado e a inclinação do talude é de 1:1,5. Assim, o fundo do aterro ampliado terá 66mts, sua profundidade de cálculo terá 20mts e a largura calculada da fundação, abaixo do subleito é de 200mts(mais do que 3 vezes a largura do fundo do aterro ampliado). Após a construção, o grau de consolidação é calculado pelo coeficiente de consolidação obtido de  $u=60\%$ . O modelo plano é estabelecido, a simetria é considerada e a linha média do antigo subleito é considerada como eixo de simetria. O deslocamento horizontal, baseia-se no ângulo do talude, antes do subleito original ser alterado. A direção perpendicular, longe da linha central do subleito é positiva e a oposta é negativa. O recalque baseia-se na linha de interseção entre

a superfície do subleito e a média do antigo, com um valor negativo na direção descendente e um valor positivo na direção ascendente, como mostrado na figura a seguir:

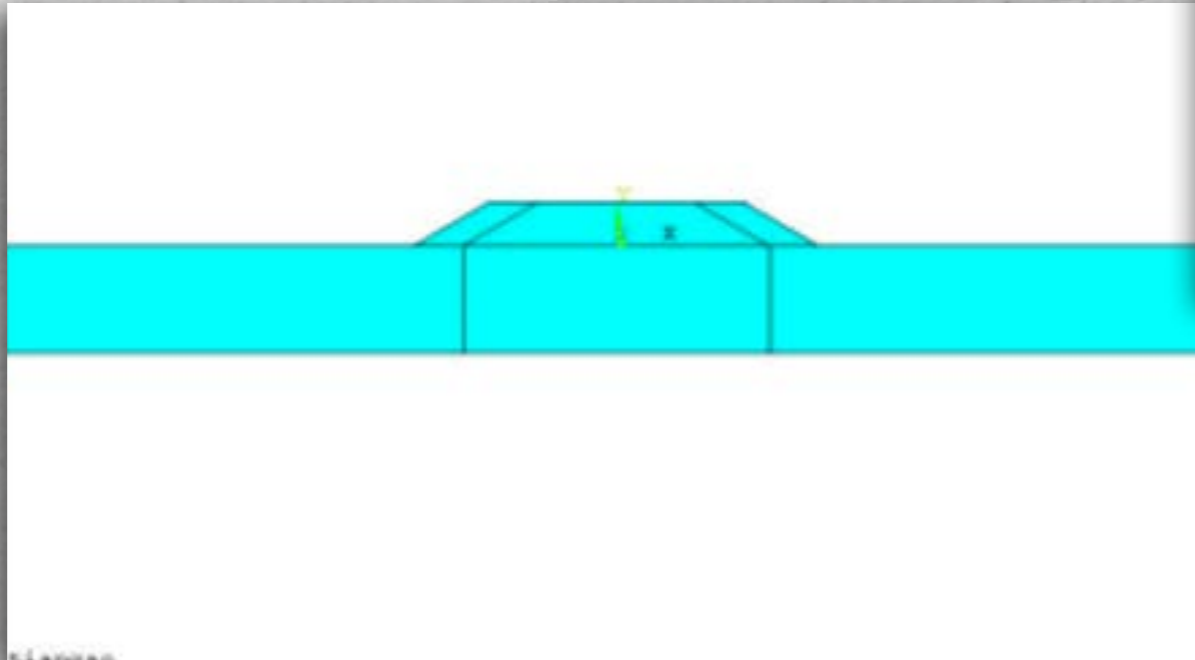


Figura 2 - O modelo geométrico da ampliação estradal.

## O efeito da largura e da emenda da ampliação no recalque diferencial

### Com a ampliação unilateral

De acordo com o modelo do cálculo anterior, a altura do subleito é de 4mts, sua inclinação é de 1:1,5, os módulos resilientes compressivos do novo subleito é 40.000kpa, do antigo 5.0000kpa e o módulo de compressão da fundação é de 4.000kpa. Quando a largura da ampliação unilateral for de 4, 8, 12 e 16mts, ou seja, correspondente a uma, duas, três e quatro faixas, a região da emenda do subleito será afetada. Observa-se, pela figura a seguir, que para a ampliação unilateral, crescendo a largura, o recalque aumenta gradualmente na linha média

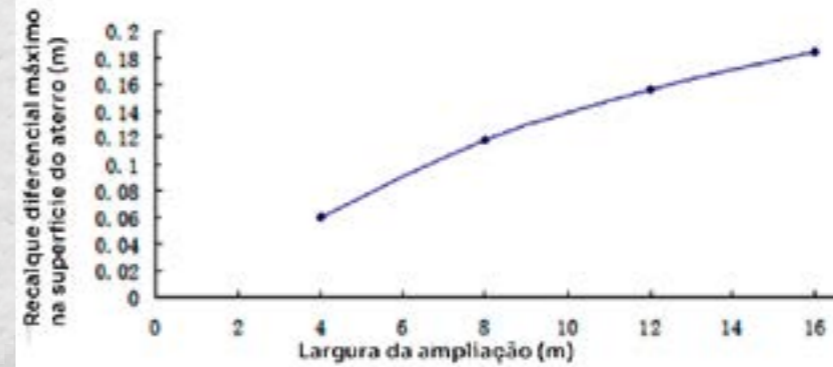


Figura 3 - Variação do recalque diferencial máximo no aterro ampliado com diferentes larguras de ampliação

da rodovia antiga. Observa-se que quando aumenta-se a rodovia antiga de 4 faixas para 5, 6, 7 e 8, o recalque adicional, em sua linha intermédia, tem tendência de aumentar e, depois, diminuir sempre com valores muito pequenos. Observa-se que, para pequenas larguras de ampliação, aumentando-a na região da emenda, entre o aterro novo e o antigo, a influência do novo aterro na linha média da antiga rodovia, torna-se maior. Por outro lado, a tendência de recalque diminui, gradualmente, quando aumenta-se a largura da ampliação. O processo de recalque, no novo subleito é, obviamente, maior que o recalque adicional na antiga rodovia. Com o aumento da largura da ampliação estradal, a localização do recalque máximo move-se da borda do novo aterro para sua crista, afastando-se gradualmente da linha média da antiga rodovia. Em números, quando a largura da região da emenda, entre o novo e o antigo, for menor que 12mts, o recalque máximo aparece na borda do aterro e, quando aumenta-se, para 12mts, a posição do recal-

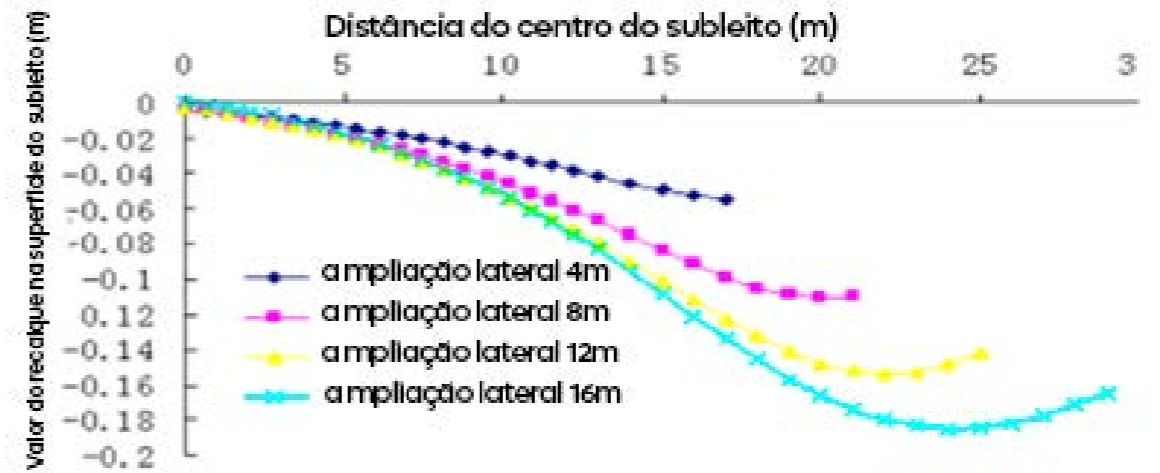


Figura 4 - Influência da largura da emenda unilateral no recalque do aterro ampliado.

que máximo é alterada, não transparecendo na borda do novo aterro e sim na posição do acostamento de (3mts). Ou seja, quando a largura da região da emenda for superior a 12mts, o recalque na superfície do aterro começa a diminuir, ocorrendo no topo do talude contrário ao aterro ampliado. Assim, quando a largura da região da emenda for grande, o talude contrário, no topo do aterro, (pertencente a região da emenda) fica propenso a formação de poças d'água quando chove, provocando danos que comprometerão o pavimento da rodovia. Observa-se na figura, a seguir, que o processo de recalque diferencial cresce com o aumento da largura da ampliação. O recalque diferencial máximo no novo aterro e no antigo é de 5,98cm, quando ampliado de 4mts. Quando a largura da região da emenda, entre o novo e o antigo, aumentar de 4 para 8mts, o recalque diferencial máximo aumentará para 11,8cm, com um valor adicional de 5,82cm. Por outro lado, quando a mesma largura da região da emenda, aumentar de 8 para 12mts, o recalque diferencial máximo sobe para 15,64cm, ou seja apenas 3,84cm. De 12 para 16mts, o recalque de 16 vai a 18,49cm, e a diferença entre eles fica em 2,85cm. Em resumo, o recalque diferencial cresce com o aumento da largura da emenda entre aterros. Desta forma, dever-se-á limitar a largura da região da emenda, em obras de ampliação estradal, para um lado apenas, recomendando-se uma emenda com 8mts, ou seja, fazê-la com 2 faixas.





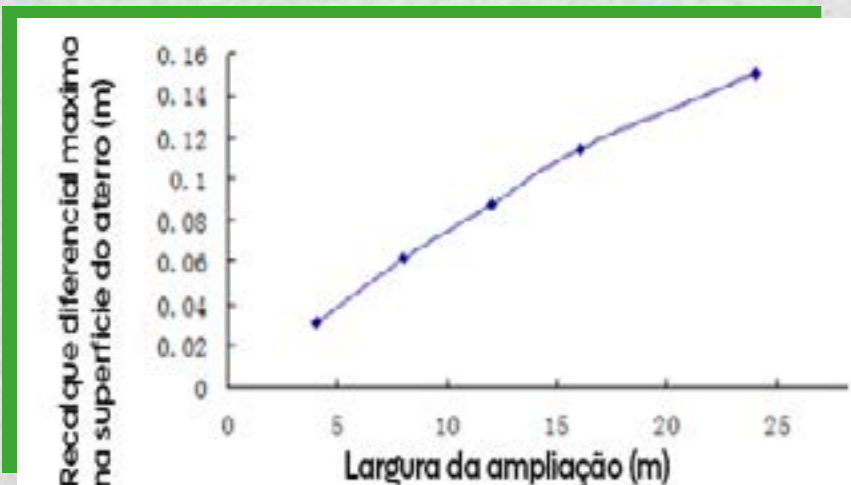
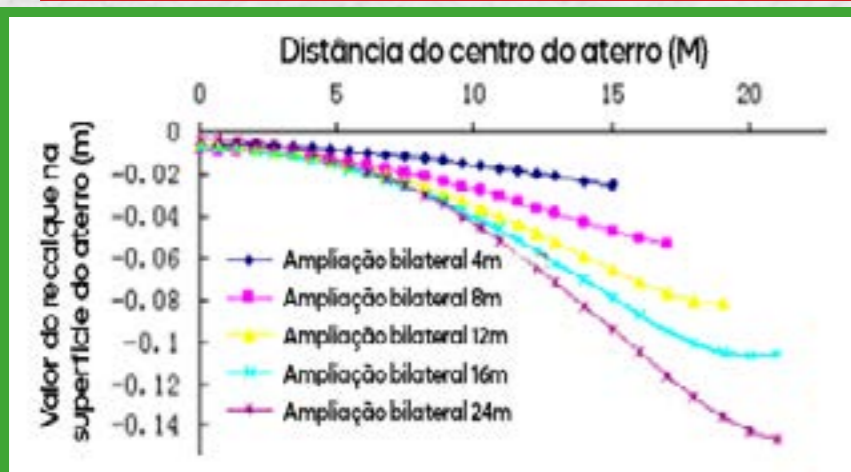


Figura 5 - a variação da do recalque diferencial máximo no topo do novo aterro, com diferentes larguras de emenda em ambos os lados

as tensões adicionais, situadas ali no meio, são aumentadas devido a carga do peso próprio do novo aterro, de modo que o centro da rodovia antiga apresenta, também, grande recalque, o que reduz de modo correspondente, o recalque diferencial na emenda dos aterros. Quando a medida desta emenda for 4mts, o recalque diferencial máximo, entre o novo e o antigo será 3,11cm. Quando a emenda é aumentada de 4 para 8mts, o recalque diferencial máximo será 6,19cm e 3,08cm. Em resumo, quando aumenta-se a região da emenda entre aterros, o recalque diferencial máximo, entre o antigo e o novo, gradualmente aumenta. Se compararmos a ampliação, unilateral com a bilateral simétrica, considerando-se a mesma largura da emenda entre aterros, a ampliação bilateral pode fazer com que o peso do aterro ampliado seja distribuído para ambos os lados da antiga rodovia, melhorando muito o processo de recalque diferencial entre o novo e o antigo e, também, as tensões na estrutura do pavimento. Além disso, a emenda bilateral pode reduzir a quantidade de terraplanagem necessária para a emenda. Contudo, a emenda bilateral também aumenta a dificuldade construtiva e o custo da obra, trazendo dificuldades para o gerenciamento da abertura do tráfego, durante o período da obra. Em resumo, poder-se-á considerar as seguintes diretrizes:

### Com ampliação bilateral

O modelo e os parâmetros de cálculos são os mesmos utilizados na emenda de aterros apenas para um lado. Como o subleito é simétrico, considera-se metade no cálculo. Quando a largura da emenda entre aterros é de 4, 8, 12, 16 e 24mts, para ambos os lados, o efeito na emenda do subleito é de 2, 4, 6, 8 e 12mts respectivamente, o que corresponde a ampliação de uma, duas, três, quatro e seis faixas. Observa-se, nas figuras ao lado, que a curva do recalque diferencial na ampliação bilateral é, basicamente, a mesma que da unilateral. Com o aumento da largura da ampliação, o recalque no centro da antiga rodovia aumenta gradualmente. Comparado com a ampliação unilateral, o recalque adicional, na linha média da antiga rodovia, é maior com a mesma largura, no entanto, o recalque diferencial máximo, no novo e antigo aterros, é ligeiramente reduzido. O motivo é que as forças atuantes, em ambos os lados da antiga rodovia, são equilibradas pela ampliação bilateral ocorrida, e

O recalque, que ocorre na linha média da rodovia antiga, cresce gradualmente aumentando-se a largura da ampliação, considerando-se o modo unilateral e bilateral.

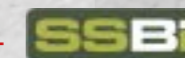
Se compararmos a ampliação unilateral com a bilateral, mantendo-se a mesma largura na emenda entre aterros, a segunda opção pode fazer com que o peso do aterro ampliado seja distribuído para ambos os lados da antiga rodovia, melhorando muito o processo de recalque diferencial entre o novo e o antigo aterros, o que é benéfico para a estrutura do pavimento.

A emenda bilateral dos novos aterros, com a antiga rodovia, pode reduzir a quantidade de terraplanagem necessária para os serviços, no entanto, aumenta a dificuldade construtiva e o custo da obra.

Na ampliação estradal, com apenas um aterro (unilateral), a largura da sua emenda a antiga rodovia, deverá ser limitada a 8m, ou seja, equivalente a emendar duas faixas.

## Referências

- Thomas Kim é engenheiro geotécnico especializado em melhoramento de solos moles.
- Day, S.R. and Ryan, C.R., 1992. State of the art in bio-polymer drain construction. In Slurry Walls: Design, Construction, and Quality Control. (pp. 333-343). Philadelphia, PA: ASTM International.
- DeJong, J.T., Fritzges, M.B. and Nüslein, K., 2006. Microbially induced cementation to control sand response to undrained shear. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(11), 1381-1392.
- DeJong, J.T., Mortensen, B.M., Martinez, B.C. and Nelson, D.C., 2010. Bio-mediated soil improvement. *Ecological Engineering*, 36(2), 197-210.
- DeJong, J.T., Mortensen, B., Soga, K., Banwart, S.A., Whalley, W.R., Martinez, B. and Kavazanjian Jr, E., 2011. *Harnessing Bio-Geotechnical Systems for Sustainable Ground Modification*. GeoStrata Magazine, ASCE.
- DeJong, J.T., Soga, K., Kavazanjian, E., Burns, S., Van Paassen, L.A., Al Qabany, A., Aydilek, A. 1054-1069 (2014)
- Tang, C.; Liu, Y.; Shi, B.; Cai, Y.; Zhu, Y.: Numerical simulation on differential settlement of jointing of new and old roadbed. *China J. Highw. Transp.* 3, 13-17 (2007) (in Chinese)
- Liu, J.; Zhang, Y.; Chen, L.; et al.: Basic characters of road widening engineering. *Rock Soil Mech.* 31(7), 2159-2163 (2010) (in Chinese)
- Wang, H.; Huang, X.: The study of ground and embankment treatment techniques in road widening, geotechnical special publication no. 154: pavement mechanics and foundations. In: *Proceedings of Sessions of Geo-Shanghai 2006*, pp. 212-219. ASCE Geo Institute, Reston (2006).
- Wang, H.; Huang, X.: Stress and deformation due to embankment widening with different treatment techniques. *J. Cent. South Univ. Technol.* 18, 1304-1310 (2011)
- Ariyaratne, P.; Liyanapathirana, D.S.: Review of 4.35Mohr design methods for geosynthetic-reinforced pile-supported embankments. *Soils Found.* 55(1), 17-34 (2015)



The logo for Soft Soil Brazilian Institute (SSBi) features the letters 'SSBi' in a bold, sans-serif font. 'SS' is in a light green color, and 'Bi' is in white, all contained within a dark green rounded rectangular background.

SOFT SOIL  
BRAZILIAN  
INSTITUTE

O SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE ajuda você a entender solos moles

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

[softsoilbrazilianinstitute.com.br](http://softsoilbrazilianinstitute.com.br)



**PARCEIROS**



**Bentley  
Institute**  
Product Training Partner

**SOLOTEST**

**GEOKON**

SOLUÇÕES CAD  
BIM

TRUTH TO MEASUREMENT.

**AB  
MS**

**Leica**  
Geosystems

**TRAGERTEC**

**ENGEGRAUT**  
ENGENHARIA ESTRUTURAL

**ROCTEST**