

Soft Soil Brazilian Review

03

Tanques de armazenamento.
Recalques, deformações radiais e o perigo constante de ruturas.

24

Recalques diferenciais em tanques industriais. Como calcular e monitorar.

36

O melhoramento do solo para tanques de armazenamento.

14 - CONSULTA

Gostaria de conhecer os critérios básicos de projeto para fundações e fundos de tanques de armazenamento.

Tanques de armazenamento

Recalques, deformações radiais e o perigo constante de rutura.



03

Tanques de armazenamento. Recalques, deformações radiais e o perigo constante de rutura.

28

Recalques diferenciais em tanques industriais. Como calcular e monitorar.

40

O melhoramento do solo para tanques de armazenamento.

Editorial

Imagine a rutura de um tanque cilíndrico, construído com chapas verticais, para armazenamento de hidróxido de sódio líquido, devido a recalques crescentes em sua fundação, formada por camadas de areia e pedrisco, sobre o qual um anel de concreto armado serve de base para o seu costado. Fluxos periódicos de água da chuva descem pelo seu costado, adentrando sob a chaparia de fundo do tanque, causando recalques crescentes em sua fundação. Paralelamente, sem que ninguém note, processos de corrosão desenvolvem-se na chaparia de aço do fundo, devido ao contato diário com líquidos acumulados. Após 40 anos de serviço, diversos focos de vazamentos começam a ocorrer em vários tanques, a partir de seus fundos, causando aquele pânico. Com muito custo, depois de drenados, corrige-se as camadas de base, paralelamente com o melhoramento do solo do subleito e a readequação dos anéis de concreto armado, incluindo a troca

da chaparia de aço de seus fundos. Trata-se de uma tarefa difícil, acompanhar gráficos de controle de recalque, de grandes tanques de armazenamento que, lentamente, emborcam motivados por problemas em suas fundações. Análises numéricas das deformações do solo de fundação, e de deslocamentos verticais das chapas do fundo, deixam evidente que o recalque tem efeito significativo nas deformações radiais a que todo o costado do tanque se submete, na zona de contato com o fundo. A proposição de se medir periodicamente, também, deslocamentos radiais a que se submete a região inferior do costado dos tanques de armazenamto, com objetivo de obter mais informações acerca da possível condição de rutura, ajuda bastante na decisão de intervenção, o que só o controle de recalque não possibilita. Por estas e outras razões, decidimos montar esta edição, de nossa SSBR, com informações úteis que possibilitarão ajudar nossos leitores, quando o problema for tanques industriais de armazenamto. Boa leitura.



03



28



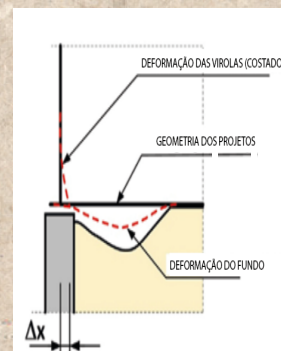
40

Seções

02 Editorial

14 Consulta

8 Agenda



A decisão de intervenção em um tanque de armazenamto, apenas com controle de recalque, é tarefa bem difícil. Medir a deformação radial da borda inferior do costado (Δx), juntamente com simulações numéricas do efeito das diversas formas de recalque do solo é extremamente importante. Estes dados, comparados com medições realizadas com o tanque vazio, fornecem informações valiosas para a decisão de uma possível intervenção.

TANQUES DE ARMAZENAMENTO.

RECALQUES, DEFORMAÇÕES RADIAIS E O PERIGO CONSTANTE DE RUTURA.

Joaquim Rodrigues



Fig. 1 - Grandes tanques de armazenamento exigem monitoramento constante da interação solo-estrutura.

Processos de produção contínua, como em refinarias, exigem armazenagem de produtos para uso posterior. Para tanto, utilizam-se tanques metálicos verticais, construídos com chapas de aço carbono calandradas (curvadas) conhecidas como virolas, com dimensões diversificadas, sequencialmente soldadas para formar seu costado. Estes tanques são montados nos mais diversos tipos de fundações, geralmente com peças de concreto armado em forma de anel, tendo substrato de cascalho e areia compactada em seu interior.

Tanques fazem parte de várias operações industriais como produção, tratamento, refino, transporte e distribuição. Diferentes tipos de tanques são utilizados para armazenar uma variedade enorme de produtos, como óleo cru e seus derivados, butano, propano, LPG, solventes, água e etc. Nosso estudo refere-se a tanques metálicos cilíndricos verticais, de fundo plano, uniformemente apoiados, que armazenam enormes quantidades de líquidos a baixo custo. Embora a fundação de tanques, em muitos aspectos, seja semelhante a outras fundações, evoluíram para uma forma especializada, tendo re-

quisitos específicos. Sua fundação quase sempre em terrenos com presença de camadas de solos compressíveis constitui, sempre, um grande desafio para garantir ausência de recalques e 100% de segurança. A previsão do recalque e seu impacto na estrutura do tanque, assim como medidas corretivas é a questão desta edição. Ao analisarmos a condição de um tanque, devemos considerar diversos tipos de informação, como a condição do solo de fundação, sua capacidade de carga, a presença de recalques em estruturas próximas, a quantidade aceitável de recalque e sua velocidade, a poropressão



SOLO MOLE NO SEU PROJETO?


NÃO TRABALHE COM TÉCNICAS
ALTERNATIVAS OU ADAPTADAS


FAÇA MELHORAMENTO DE SOLO

MELHORAMENTO DE SOLOS MOLES É
GEOENRIJECIMENTO*

**100% TEORIA DO ADENSAMENTO DA ARGILA*

 facebook.com/engegraut

 [@engegraut](https://instagram.com/engegraut)

 www.engegraut.com.br

VISITE NOSSO SITE: WWW.ENEGRAUT.COM.BR

existente e, finalmente, os códigos e padrões aplicáveis. A presença de camadas de solo mole e um subleito inadequado para suportar um conjunto de tanques, obriga a tomar uma das decisões abaixo:

- Remover as camadas de solo mole, quando superficiais substituindo-as por material adequado, compactando-as;
- Precarregamento na área de fundação, com aterro suficiente e controle preciso da poropressão e do conseqüente recalque;
- Melhorar o solo com geoenrijecimento, adequando-o as cargas do projeto, com níveis de resistência e rigidez.

A melhor destas decisões é o melhoramento de solos, com geoenrijecimento, pois garante um terreno 100% estável e, principalmente, homogêneo e ausente de recalques residuais, que são fatais para o empreendimento, pois afetam sua vida útil, exatamente pelo fato de que qualquer deformação no solo faz com que as placas de fundo do tanque fiquem em condição úmida ou saturadas, já que a água acumulada não consegue escoar adequadamente, o que provoca corrosão uniforme acelerada ou por "pitting", reduzindo a vida útil do fundo do tanque. Um detalhe interessante, é que tanques foram idealizados para ficarem, pelo menos, 25cm acima do solo circundante, quando com processos de recalque. Já se pode imaginar que uma fundação de um tanque muito baixa, em relação ao passeio circundante, deixa-o propenso à corrosão em sua região inferior. A drenagem do solo desempenha papel fundamental na vida útil da fundação do tanque. A ausência ou má execução de drenagem adequada, não só causa corrosão acelerada (ou por "pitting") do fundo/ lateral do tanque, como também afeta sua estabilidade e a capacidade de carga do solo, particularmente quando o solo não é melhorado. A utilização de reforço do solo com colunas de brita, por exemplo, deixa-o propenso a ficar saturado, após alguns dias de chuvas, causando deformações nas bordas do tanque, provocando recalque em seu perímetro.

Tipos de fundação de tanques

Existe uma diversidade de tipos de fundação para tanques de armazenamento, alguns deles bem comuns como o de anel circular de concreto armado, conforme figura 3 abaixo, utilizado em tanques com pelo menos 10 mts de diâmetro. Dimensões bem maiores, implica nas seguintes características:

- A capacidade de carga do solo, em seu subleito não é muito boa mas, logo abaixo, atende. Neste caso, poder-se-á utilizar anel circular de concreto armado, de modo a evitar a prensagem lateral do solo;

- Há superfície nivelada para o início da construção do tanque;
- A checagem da planicidade é relativamente fácil;
- Elimina o fenômeno do recalque de borda e reduz o recalque diferencial/ distorção resultante do costado do tanque, o que é importante para tanques com teto flutuante.

A utilização de fundação com radier de concreto armado, tem as vantagens do anel circular de concreto, limitando-se a utilização para tanques com menos de 10mts de diâmetro, já que seu custo costuma inviabilizar o empreendimento. A utilização

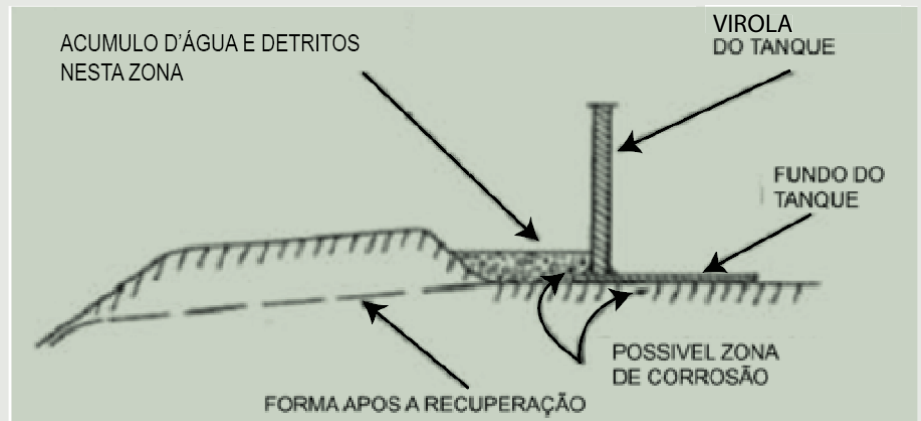
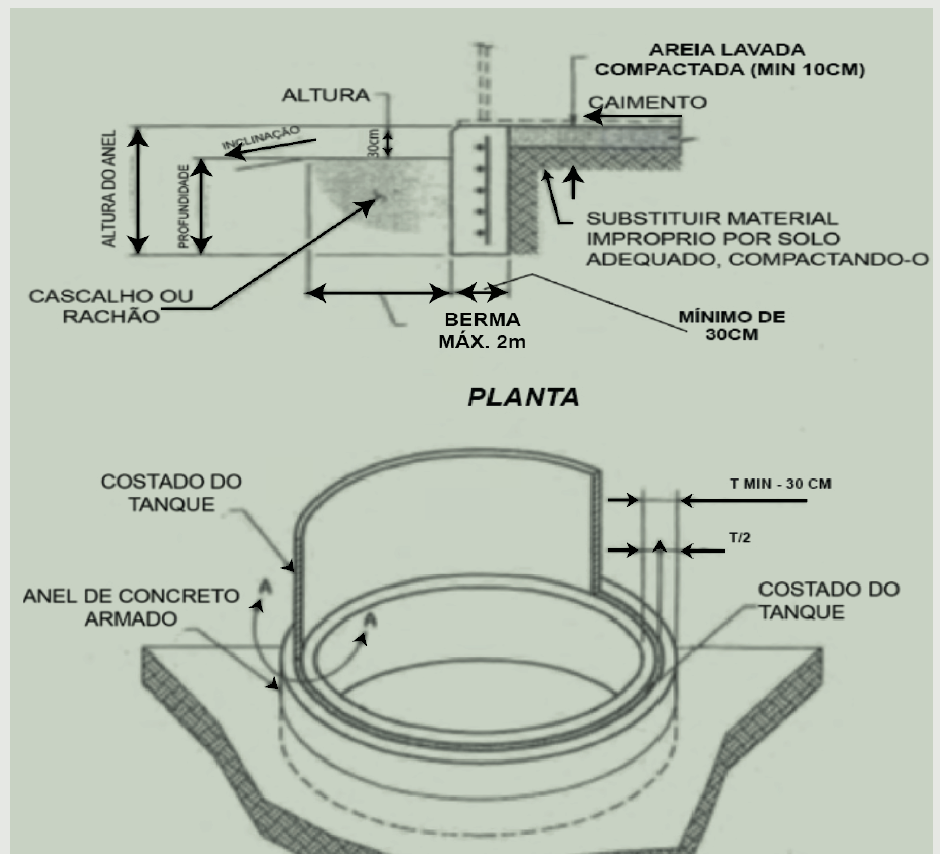


Fig. 2 - Recalque da virola com a fundação do tanque.



GE05

Análises Numéricas



MEF

Este programa permite modelar uma vasta gama de problemas de geotecnia, tais como: assentamento de terrenos, estabilidade de taludes, escavações, análise de túneis, percolação, análise de paredes diafragma e outras estruturas de contenção, etc. Sendo possível assumir deformações planas ou condições assimétricas. É possível realizar as análises através dos seguintes modelos: Drucker-Prager, Mohr-Coulomb, Mohr-Coulomb Modificado com o endurecimento e amolecimento, Cam-Clay Modificado e Argila Hipoplástica.



Túnel

Este módulo é uma extensão do programa MEF que contém funções úteis à modelação de túneis, tais como: gerador de revestimento, condições de carga devido a efeitos térmicos ou dilatação dos solos, método de escavação sequencial.



Percolação

Este módulo é uma extensão do programa MEF que permite analisar o fluxo de água em regime constante ou transitório.



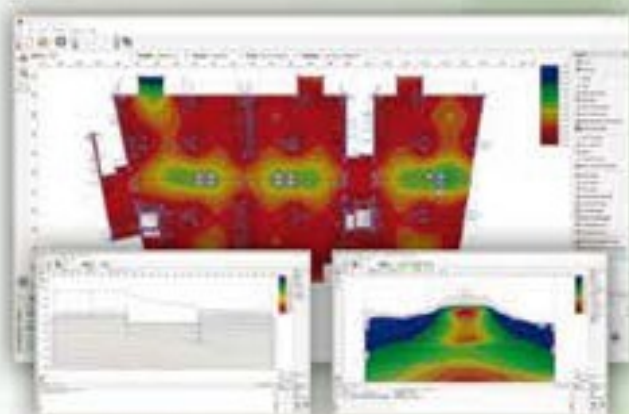
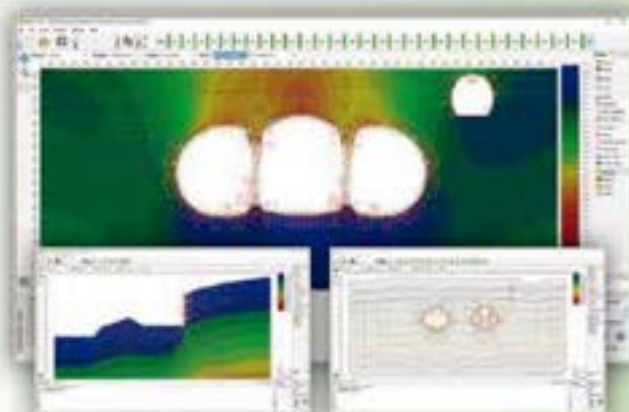
Consolidação

Este módulo de extensão do programa MEF realiza análises de assentamento em função do tempo, sob aterros, fundações ou devido a outras sobrecargas.



Laje e radier

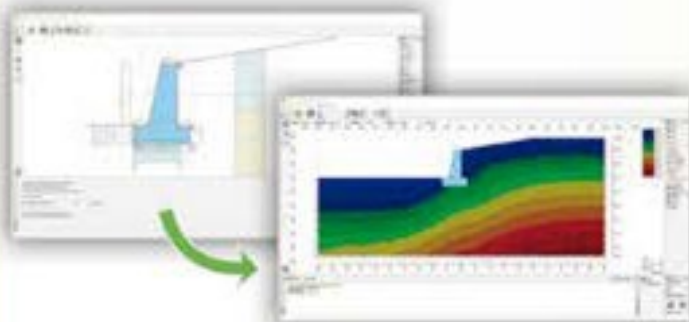
Este programa pode ser utilizado para analisar placas e lajes de fundação, independentemente da sua forma, assentes em subsolo elástico.



O que torna o GE05 único?

Combinação de Métodos Analíticos e Numéricos

Os métodos analíticos permitem dimensionar e verificar estruturas de forma rápida e eficaz, no entanto, em alguns casos, pode ser aconselhável recorrer ao MEF. O facto de o ambiente de trabalho ser comum aos vários programas e a possibilidade de transferência de dados entre programas permitem que o utilizador tire o máximo proveito do conjunto de programas GE05.



Aplicação de Várias Normas

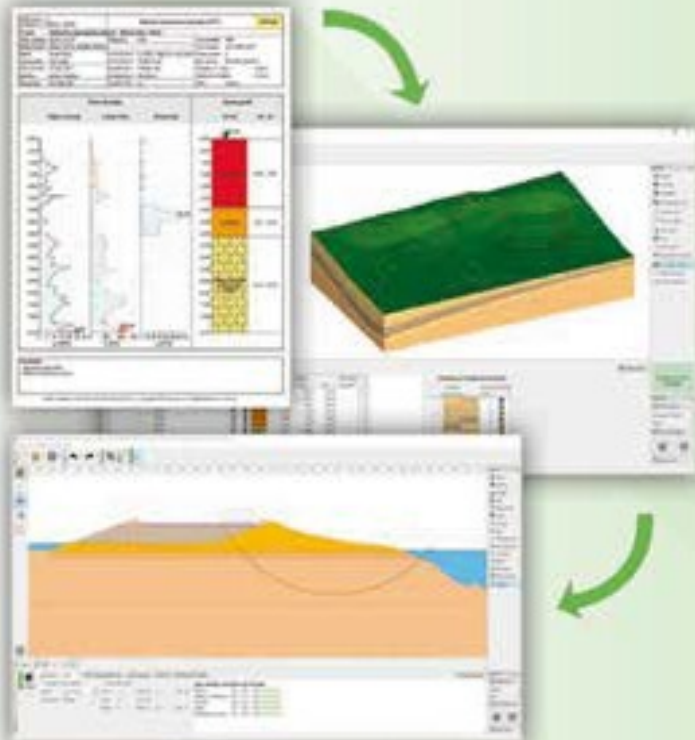
Os métodos geotécnicos aplicados pelo software GE05 são utilizados em todo o Mundo. O GE05 adota um sistema único de aplicação de normas e coeficientes parciais que são introduzidos de forma independente em relação aos dados da estrutura em análise. O GE05 possui uma base de dados de normas, sendo que também é possível que o utilizador defina as suas próprias configurações.

GE05 suporta:

- Fatores de Segurança (ASD)
- Teoria de Estados Limites (LSD)
- Eurocódigos EN 1997, incluindo Anexos Nacionais
- Load Resistance Factor Design (LRFD - USA)
- Outras normas geotécnicas (SNIP - Rússia, GB - China)
- Normas para betão armado (EN, ACI, SNIP, GB, AS, etc.)

Desde a Prospeção a Dimensionamentos Avançados

O GE05 baseia-se num conjunto de programas que fazem a conexão entre a modelação de dados geológicos com soluções para todos os tipos de problemas geotécnicos complexos.



www.finesoftware.com.br

Zaverka 12
169 00 Praha 6
Czech Republic

tel.: +420 233 324 880
fax: +420 233 321 754
e-mail: hotline@finesoftware.eu

Estão disponíveis pacotes com preços muito acessíveis acoplados com planos de manutenção e de leasing atrativos. Por favor, contacte o seu distribuidor para cotações.

O seu agente local

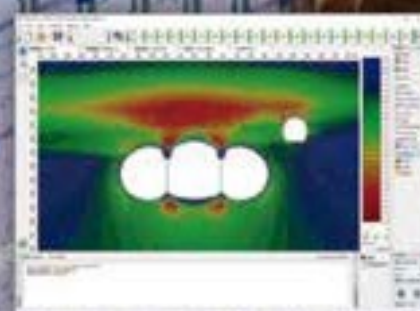
SOLUÇÕES CAD BIM

Tel.: (11) 3294-4800 | (11) 9 8995-1170
Av Nova Cantareira, 2014 - SI 123
Tucuruvi - São Paulo/SP

GEO5

Software de Geotecnia para
uma vasta gama de análises

-  Análise de Estabilidade
-  Escavações e Contenções
-  Fundações
-  Muros e Gabiões
-  Túneis e Poços
-  Assentamentos
-  Estudos Geológicos
-  Sondagens de Solo



Com recurso ao MEF e a Métodos Analíticos

de fundação com estacas é sempre indesejável, mesmo quando o solo não apresenta capacidade de carga. Com este perfil de solo, melhorá-lo, com geoenrijecimento, é a melhor opção, já que evita a surgência de recalques diferenciais nas tubulações que chegam ao tanque. A opção por estaqueamento é perigosa também, pois com a presença de solos moles e a existência de aterros, há grande probabilidade da surgência de atrito negativo no corpo das estacas devido ao processo de consolidação inevitável.

O solo de fundação deforma e o tanque?

Estabilidade e deformações são dois aspectos importantes para a integridade da base e do costado do tanque. Recalques diferenciais, especificamente, em torno da circunferência da fundação, sob o costado do tanque metálico cilíndrico vertical de armazenamento, é uma forma extremamente severa de dano, podendo causar um quadro complexo de distorção e tensionamento. Estas tensões e deflexões resultantes no costado e nos anéis de contraventamento superior e intermediário de tanques, com teto flutuante, podem ser analisados assumindo-se que o corpo do tanque comporta-se como uma membrana obtendo-se, assim, campos máximos de tensões em toda a periferia do tanque, causado por recalques. Para o caso de tanques sem qualquer ancoragem, na presença de um cenário com recalques diferenciais, sua rigidez pode ser tal que todo o costado faz “pontes” em pontos localizados de sua fundação. Os principais tipos de recalques, de acordo com o API 653 (2014) são os apresentados na figura 5 ao lado. Com este perfil de solo, melhorá-lo, com geoenrijecimento, é a melhor opção, já que evita a surgência de recalques diferenciais nas tubulações que chegam no tanque.



Fig. 4 - O peso do costado e do líquido impõe tensões diferenciadas nas bases dos tanques.

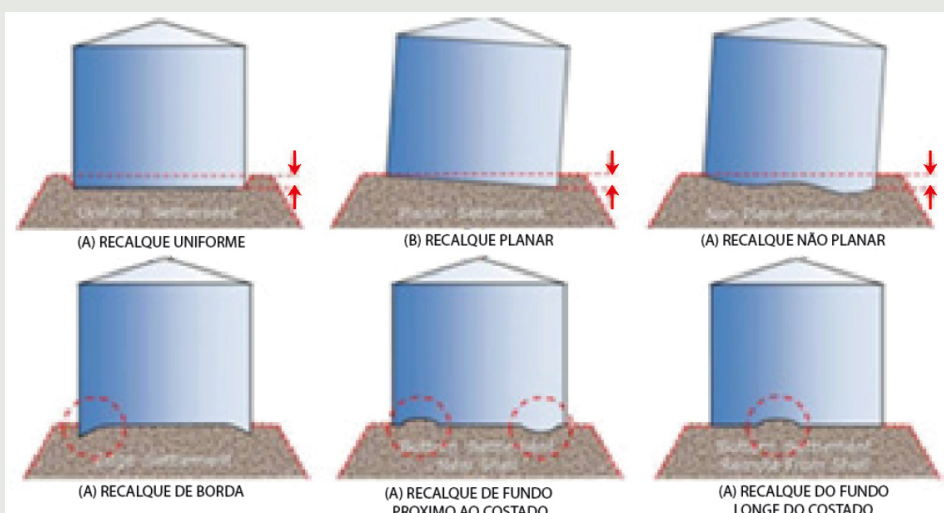
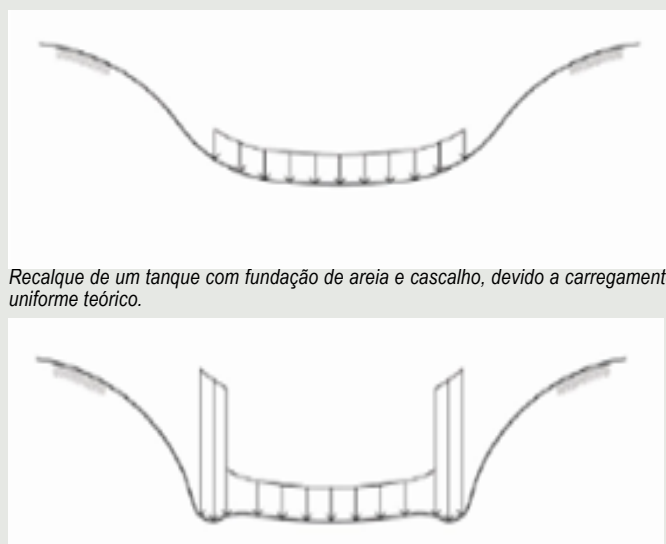


Fig. 5 - Recalques em tanques segundo API 653



Recalque de um tanque com fundação de areia e cascalho, devido a carregamento uniforme teórico.

Recalque de um tanque com fundação sobre areia e cascalho, tendo carregamento uniforme real. Em ambos os casos, nota-se a ausência do melhoramento do solo.

Fig. 6 - Formas diferenciadas de recalque entre a teoria e a prática.

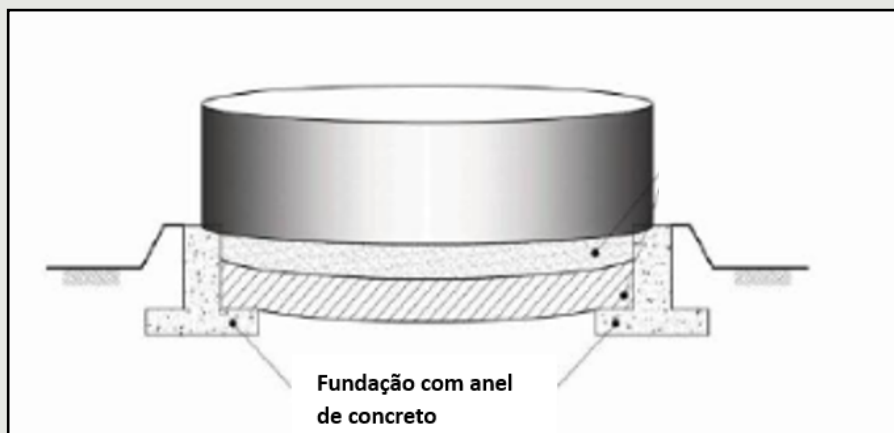


Fig. 7 - Exemplo de tanque com fundação em anel de concreto.

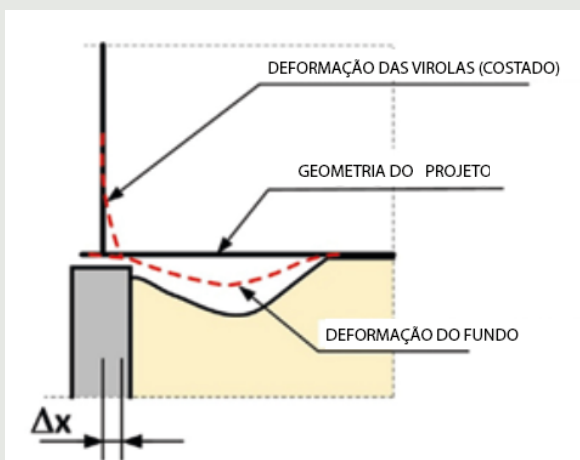


Fig. 8 - Deformações radiais (Δx) nas bordas inferiores devem, sempre, ser motivo de monitoramento.

A questão do recalque uniforme do solo

O recalque uniforme não causa tensões prejudiciais na estrutura do tanque. Evidentemente quando este nível de deformação é excessivo, poderá afetar o sistema de tubos que se interligam ao tanque, podendo ser adaptado sem problemas. Torna-se importante manter o fundo do tanque distante do nível freático máximo e evitar também, que fique água acumulada entorno do tanque, de modo a impedir a corrosão no costado e em seu fundo.

A questão do recalque não uniforme do solo

Este tipo de deformação, no solo de fundação, costuma ficar localizado em toda a borda do tanque, de forma desigual, podendo causar rotação em sua verticalidade. Nesta condição, ver figura 9,

ter-se-á um limite de no máximo $h/100$, a partir do qual exigir-se-á monitoramento constante. Este tipo de anomalia começa a causar tensões em todo o costado do tanque, particularmente em suas soldas. O critério de aceitabilidade, segundo o EEMUA 159 e o CODRES 2009, é que tanques com teto fixo, com diâmetro inferior a 40mts, o recalque diferencial máximo aceitável, entre dois pontos na periferia, medido o mais próximo possível do limite costado/fuido, deve ser determinado conforme seu diâmetro, de acordo com a curva da figura 10. O recalque diferencial máximo, aceitável entre dois pontos quaisquer na circunferência, não pode exceder 300mm. Deve permanecer inferior a 100mm, para tanques com menos de 6 mts de diâmetro. Para tanques com diâmetros situados entre 6 e 36mts, o recalque diferencial máximo aceitável é

$$T_d \leq \left[\frac{200}{30} (D - 6) \right] + 100$$

Onde: T_d é o recalque diferencial máximo aceitável em mm.

D Diâmetro do tanque (m)

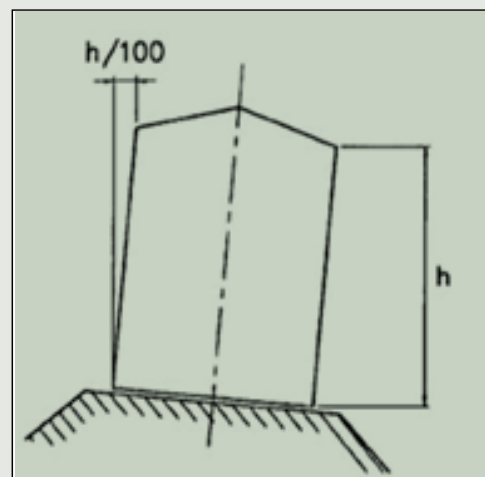


Fig. 9 - Inclinação planar do tanque, diferente da diferencial.

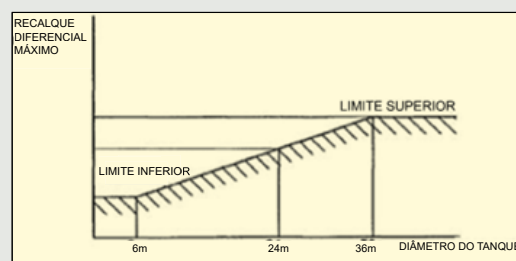


Fig. 10 - Curva do recalque diferencial máximo em função do diâmetro do tanque.

Já tanques com teto fixo e diâmetro superior a 40mts, equipados com tela flutuante, a deflexão máxima aceitável entre dois pontos, de medidas consecutivas, é determinado pela fórmula abaixo:

$$D_{mes} = \frac{11.000. dt^2 . K}{2. E . H}$$

Onde: D_{mes} é a deflexão máxima entre dois pontos consecutivos (mm);

dt^2 é a distância entre dois pontos de medidas consecutivas (m)

K é o limite de elasticidade da placa periférica do fundo (Mpa);

E é o módulo de Young (Mpa);

H é a altura total do costado do tanque (m);

Esta deflexão máxima deve, também, ser avaliada em relação a inclinação do tanque e da faixa de operação da junta do teto flutuante. Um requisito adicional, segundo o CODRES (2009) é que para tanques com teto



ABRIL	JUNHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
<p>GeoAméricas 2024</p> <p>Local: Canadá</p> <p>Data: 28/04/2024</p>	<p>Sondagens - Inovações, Problemas e soluções de sondagens no Brasil</p> <p>Local: Hotel Transamérica, BH</p> <p>Data: 07/06/2024</p>	<p>12 - Congresso Luso-Brasileiro e 8as Jornadas Luso-Espanholas de Geotecnia</p> <p>Local: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)</p> <p>Data: 23/08/2024</p>	<p>GeoenvironMeet 2024</p> <p>Local: Portland, Estados Unidos da América</p> <p>Data: 08/09/2024</p>	<p>5th European Conference on Physical Modelling in Geotechnics</p> <p>Local: Delf, Holanda</p> <p>Data: 02/10/2024</p>	<p>17 - Conferência Pan-Americana de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (PANAM-GEOCHILE2024)</p> <p>Local: La Serena, Chile</p> <p>Data: 12/11/2024</p>	<p>International Conference on Transportation Geotechnics 2024</p> <p>Local: Sydney, Austrália</p> <p>Data: 18/12/2024</p>
<p>International Foundations Congress & Equipment Expo 2024</p> <p>Local: Dallas, Estados Unidos</p> <p>Data: 07/05/2024</p>	<p>Conferência SuperPile 24</p> <p>Local: São Francisco, Califórnia</p> <p>Data: 12/06/2024</p>	<p>18 - Conferência Europeia de Mecânica de Solos e Engenharia Geotécnica</p> <p>Local: Altice Arena, Lisboa</p> <p>Data: 26/08/2024</p>	<p>Cobramseg 2024</p> <p>Local: Balneário Camboriú, Santa Catarina</p> <p>Data: 24/09/2024</p>		<p>GeoMandu 2024</p> <p>Local: Kathmandu, Nepal</p> <p>Data: 28/11/2024</p>	
<p>GEORS 2024</p> <p>Local: Centro Integrado de Desenvolvimento Costeiro e Oceânico do Sul (CIDECSul)</p> <p>Data: 23/05/2024</p>	<h1 style="text-align: center;">AGENDA GEOTÉCNICA 2024</h1>					

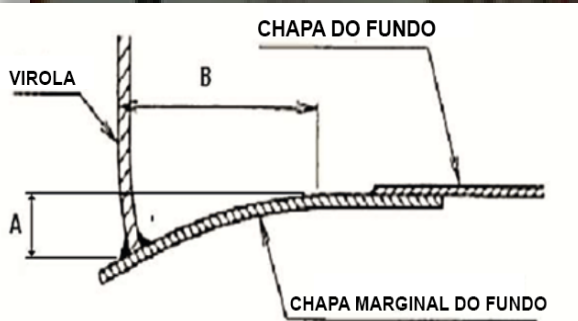
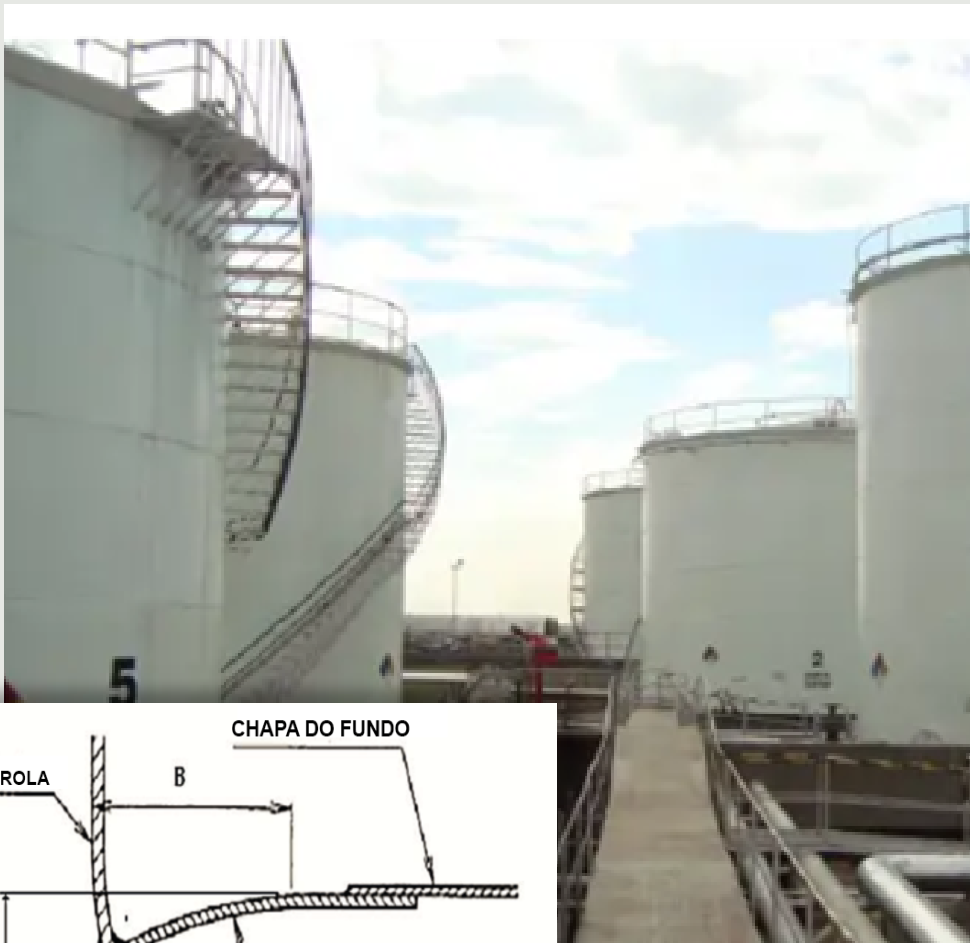


Fig. 11 - Grandes tanques de armazenamento exigem monitoramento constante,

Fig. 12 - Forma do recalque máximo aceitável nas bordas.

flutuante e fixo, equipados com tela flutuante, o recalque diferencial máximo aceitável, entre dois pontos quaisquer, ao longo de uma circunferência, não deve exceder 200mm. Para recalques localizados na borda periférica do tanque, de acordo com o EEMUA 159, dever-se-á analisar, de modo particular, todo o chapeamento do fundo e a solda costado/fundo. As deformações induzidas por recalque periférico, localizado na região inferior, devem ser anotadas conforme a figura 12 acima. O recalque máximo aceitável nas bordas será de 125mm (A) ao nível do costado e em um comprimento radial máximo de 750mm (B). E, finalmente, para recalques e deformações no fundo do tanque, reconhece-se que é bastante

comum, formando-se um perfil curvo. A tolerância para esta forma de recalque é função do grau inicial de conicidade realizado no momento da construção. O comprimento excessivo do chapeamento, consoante com o diâmetro do tanque, pode formar ondulações. A avaliação, de acordo com o EEMUA 159, obedece a seguinte

$$f_{max} = \frac{D}{100} \sqrt{\left(\frac{100F_0}{D}\right)^2 + 3280 \cdot \frac{K}{E}}$$

Onde: f_{max} é a flexa máxima aceitável entre o centro e a borda;

F_0 é a flexa inicial convexa ou côncava entre o centro e a periferia (m);

E é o módulo de Young (Mpa);

K é o limite elástico do chapeamento do fundo (Mpa);

D é o diâmetro do tanque (m).

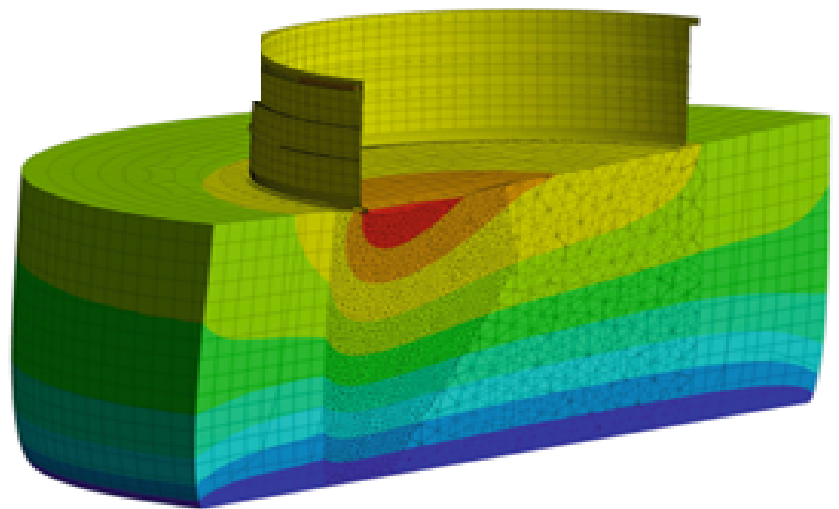
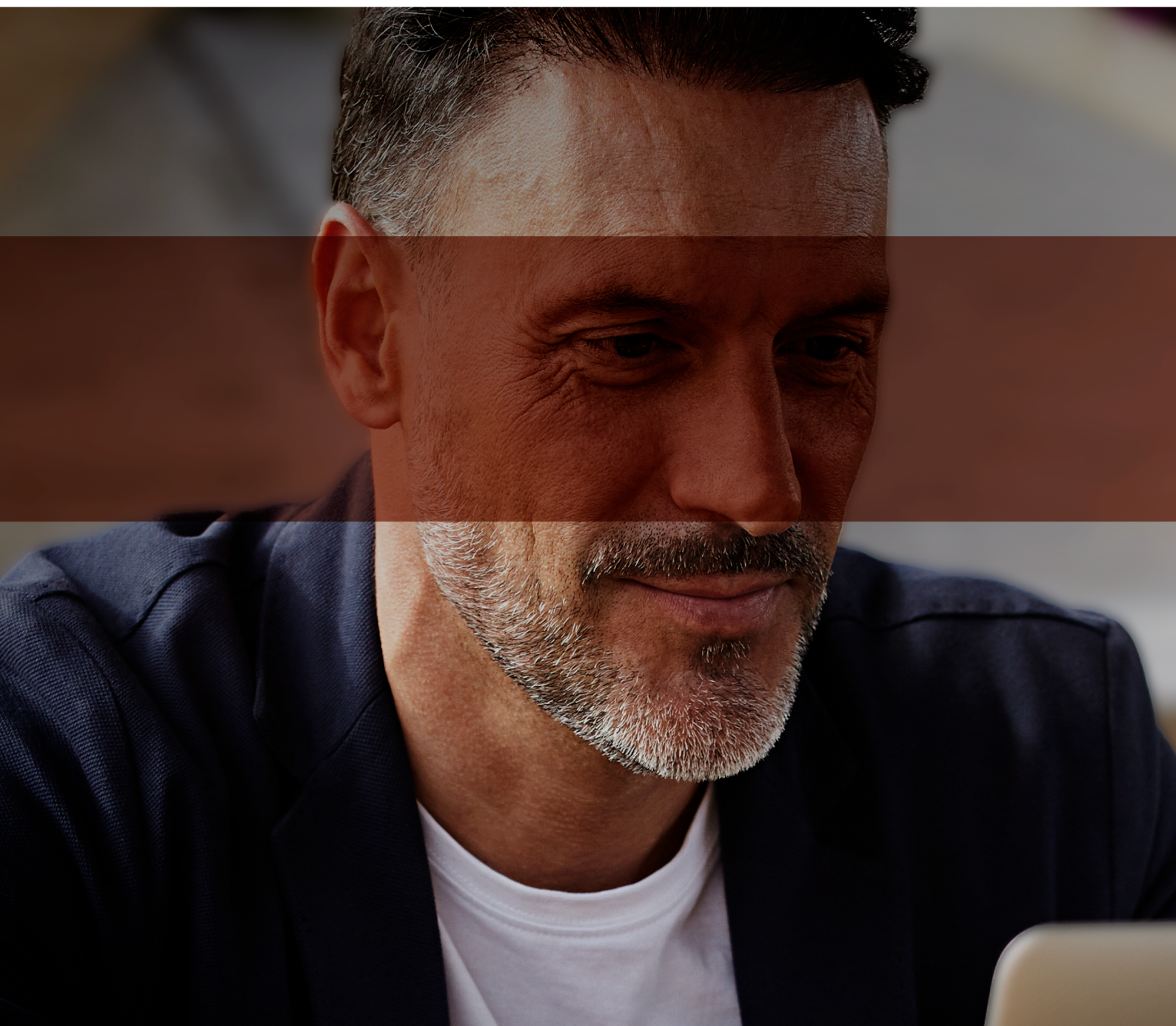


Fig. 13 Diagrama de deslocamentos para base e fundação de tanque de armazenamento com cerca de 10m de diâmetro.

Com relação as deformações provenientes da operação cíclica do tanque, com esvaziamento e enchimento frequentes, seu costado fica submetido a forças transversais, que induzem deformações elásticas. Como o fundo não se deforma da

mesma maneira que o costado, surgem tensões na zona crítica (a norma API 653 define como a parte do fundo do tanque 10cm para dentro de sua borda, medindo-se radialmente para dentro). Por outro lado, a rotação do tanque, ao longo de



:: NOTÍCIAS EM TEMPO REAL;

:: ANÁLISE EM PROFUNDIDADE;

:: CONSENSO DE OPINIÕES SOBRE SOLUÇÕES;

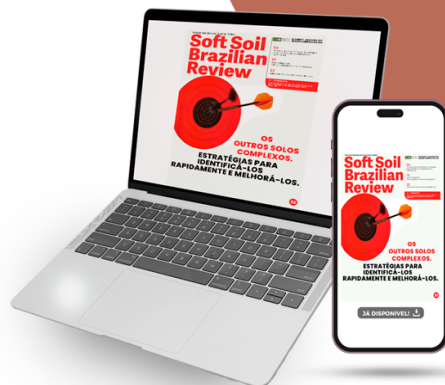
:: GRÁFICOS E FERRAMENTAS ANALÍTICAS

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.



SSBi SOFT SOIL
BRAZILIAN
INSTITUTE

ACESSE [SOFTSOILBRAZILIANGROUP.COM](https://softsoilbraziliangroup.com) E ESCOLHA
A EDIÇÃO IDEAL PARA SUA PESQUISA.





Fig. 14 - Serviços obrigatórios de inspeção no costado de tanque de armazenamento.

um plano inclinado, provoca aumento no nível do líquido armazenado e de tensões no costado. Por fim, tanques de armazenamento são estruturas sensíveis a recalques, necessitando de estudo geotécnico cuidadoso, considerando-se a presença de solos moles e sua heterogeneidade.

REFERÊNCIAS

- Joaquim Rodrigues é engenheiro civil M.Sc. formado no Rio de Janeiro em 1977, pós-graduado pela COPPE na Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1999. Diretor do Soft Soil Group e da Enggraut Geotecnia e Engenharia, associada à ABMS e ao American Society of Civil Engineers desde 1994. Desenvolveu duas técnicas de tratamento de solos moles, sendo motivo de patente o GEOENRIJECIMENTO, utilizada hoje em todo o Brasil.
- Tarasenko, A.A., Konovalov, P.A., Zekhniev, F.F., Chepur, P.V., Tarasenko, D.A.: Effects of nonuniform settlement of the outer bottom perimeter of a large tank on its stress-strain state. *Soil Mech. Found. Eng.* 53(6), 405–411 (2017).
- Tarasenko, A., Chepur, P., Gruchenkova, A.: Determining deformations of the central part of a vertical steel tank in the presence of the subsoil base inhomogeneity zones. In: *AIP Conference Proceedings*, vol. 1772, p. 060011 (2016).
- CODRES : Code français de construction des réservoirs cylindriques verticaux en acier, 2011.
- Slepnev, I.V.: Stress-Strain Elastic-Plastic State of steel Vertical Cylindrical Tanks with
- EEMUA 159: Engineering Equipment and Materials Users Association, 2011.
- Guide d'inspection et de maintenance des réservoirs aériens cylindriques verticaux, DT 94, Octobre 2011.

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

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 número: (21) 99359-9105

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



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 ou atendimento@rogertec.com.br

GOSTARIA DE CONHECER OS CRITÉRIOS BÁSICOS DE PROJETO PARA FUNDAÇÕES E FUNDOS DE TANQUES DE ARMAZENAMENTO.

Projetos de estruturas de armazenamento devem conter conceitos básicos de dimensionamento fundamentados nos aspectos de estabilidade estrutural (aptidão no recebimento e na transferência de ações, mantendo segura a distância das situações de colapso), adequação ao uso (comportamentos e deslocamentos aceitáveis, dentro de diversas condições de serviço) e durabilidade (garantia de segurança, estabilidade e competência em serviço durante o período correspondente à sua vida útil). Estas diretrizes devem nortear não apenas procedimentos de cálculo e detalhamentos, mas também a especificação de materiais e a concepção de elementos da estrutura. Com relação a durabilidade, a norma ABNT NBR 6118 (2007) fixa requisitos e exigências de projeto¹ de acordo com uma classificação, feita segundo o nível de agressividade a que estão sujeitas, procurando atrelar à estrutura níveis crescentes de exigências, conforme aumenta o ataque físico-químico imposto pelo ambiente. Considerando-se a característica do produto armazenado, bem como do ambiente no qual tanques de armazenamento estão inseridos, não se vê outra premissa de cálculo, a ser adotada, senão a que considera a Classe de Agressividade Ambiental mais agressiva. Ressalta-se a importância de se prever, ainda durante a etapa de projeto, recursos que viabilizem a adequada utilização

da estrutura, como a facilidade de acesso à inspeção e manutenção, adequação às necessidades operacionais existentes, além do dimensionamento de sistemas/dispositivos para águas pluviais. Como em outras obras-de-arte especiais, o projeto de tanques de armazenamento é profundamente influenciado pelo material e sistemas construtivos adotados para sua execução. Desta forma, sua seleção e especificação devem ser feitas de forma integrada com as equipes envolvidas na construção do equipamento, objetivando uma adequada compatibilidade entre o previsto e o realizado. Um dos objetivos é fornecer diretrizes e parâmetros para a avaliação de diversos sistemas construtivos cabíveis na construção de tanques.

Fundações em fundos de tanques

O sistema de fundação de tanques de armazenamento, independentemente da estrutura seja de chapas de aço ou peças de concreto, têm seu funcionamento regido pela interdependência dos elementos fundação e seu fundo (Fig. 1). Seu correto dimensionamento passa pela avaliação do comportamento global frente aos agentes e cenários aos quais estão submetidos. O projeto de fundação de tanques é composto por cinco aspectos básicos. Nesta visão, o desrespeito a apenas um deles resultará em sérios contratempos futuros, a serem enfrentados ao longo da vida útil do equipamento, seja em sua operação

ou, durante sua fase construtiva. Os aspectos são:

→ Mecânico, envolvendo desde a concepção estrutural do fundo do tanque (materiais constituintes e uniões entre peças e regiões), até sua concepção hidráulica (caimentos, inclinações e localização de drenos/bacias);

→ Geotécnico, abordando tanto o projeto do subleito e das demais camadas suporte (que servirão de base para a estrutura de fundação e fundo), como também dos elementos de fundação superficiais.

→ Ambiental, envolvendo o sistema projetado para atuar no caso de falhas em quaisquer dos outros aspectos, protegendo o meio ambiente e sinalizando para a necessidade de medidas corretivas. É o foco dos sistemas de contenção (primários ou secundários), bem como dos sistemas de detecção de vazamentos – ambos sendo constituídos, basicamente, pelo uso de geossintéticos e/ou camadas de solo associados à estrutura do tanque.

→ Durabilidade, contemplando sistemas protetores que irão salvaguardar o fundo do tanque do ataque físico-químico oriundo do ambiente externo e/ou interno. Estas soluções protetoras vão desde revestimentos anticorrosivos

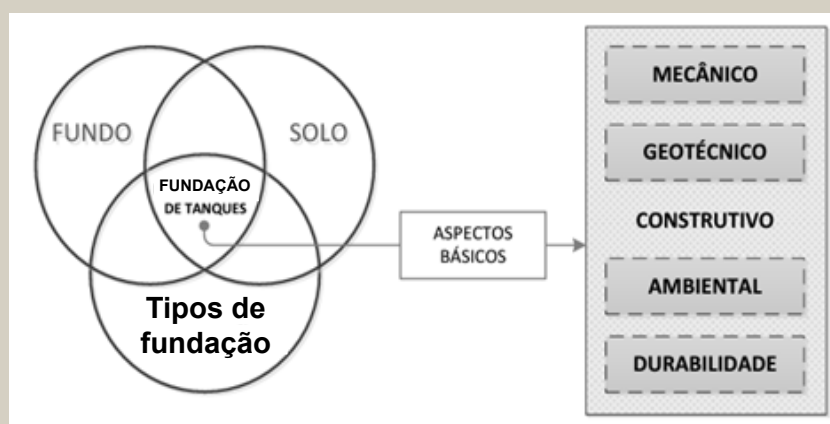


Fig. 1 - Aspectos pertinentes a fundação de tanques de armazenamento.

PRESSIÔMETRO

Um ensaio geotécnico completo realizado no campo

Fácil de operar e 100 % viável



ROCTEST

Representante exclusivo no Brasil

+55 21 2718 3968



vendas@3geotecnologia.com

www.3geotecnologia.com

vos (tintas, camadas protetoras e liners) até técnicas anticorrosivas (proteção catódica e inibidores de corrosão);

→ Construtivo, tratando da materialização de todos os demais aspectos, sendo decisivo na conformidade e interrelação. Possui importância fundamental, tendo em vista ser na etapa de construção a origem dos principais mecanismos de deterioração do fundo (corrosão, recalques, vazamentos, etc). Contempla todas as etapas executivas do tanque, como terraplanagem, concretagens, soldagens, instalação de geossintéticos, tratamento e pintura de superfícies, instalação de liners e implantação da proteção catódica.

Como pode ser visto, é grande a interferência entre aspectos e, não raro, uma mesma solução de projeto pode envolver mais de um deles. No caso específico de tanques de concreto, esta interdependência é ainda mais forte, tendo-se em vista a maior carga na fundação e a estreita relação destas com o fundo do equipamento. A negligência para qualquer destes aspectos pode resultar em substancial prejuízo futuro, com custos consideravelmente maiores do que os inicialmente demandados nas fases de projeto e implantação.

Requisitos de um projeto de fundações.

são os elementos responsáveis pela transferência das cargas, advindas da superestrutura para o terreno. Em qualquer construção, uma fundação é constituída por elementos constituídos por peças estruturais, como sapatas e radiers e o solo de fundação, que irão afetar e ser afetados pelo tanque. O projeto de fundações deve contemplar características de cada um destes componentes – bem como sua interação, de forma a atender três objetivos fundamentais:



Figura 2 – A etapa de construção é a origem dos principais mecanismos de deterioração do fundo de tanques.

→ Deslocamentos aceitáveis, respeitando-se os limites impostos a priori para sua movimentação (recalques, levantamentos, vibrações, etc), sob condição real de serviço;

→ Estabilidade externa, garantindo-se a segurança ao colapso, por parte do solo de fundação, durante o projeto dos elementos, de tal forma que, sob solicitação, não desencadeiem processos de ruptura no terreno (por recalques, deslizamentos, tombamentos, arrancamentos, etc);

→ Estabilidade interna, garantindo segurança ao colapso, por parte do elemento de fundação, durante o projeto, dimensionando-o de tal forma que, sob solicitação, não desenvolva processo de ruptura estrutural (por compressão, tração, flexão, flambagem ou cisalhamento).

O terceiro objetivo é atingido por meio das ferramentas fornecidas pelo Cálculo Estrutural (disciplina responsável pela análise e dimensionamento da estrutura). De forma complementar, cabe à Geotecnia o atendimento aos dois primeiros, por meio da estimativa de recalques, do estudo da capacidade de carga e da determinação das pressões de contato na fundação.

Em tanques de armazenamento convencionais metálicos, as chapas do fundo do equipamento são dispostas sobre sua fundação, seja composta por camadas de solo compactado, seja por laje de concreto armado, após ser devidamente impermeabilizada. Para tanques de concreto, contudo, tal distinção perde o sentido, uma vez que a laje sobre a base exerce ambos os papéis de contenção de fundo e fundação em radier.

Consequências estruturais, operacionais e ambientais de falhas geotécnicas

Toda fundação inexoravelmente sofre, em decorrência da solicitação à qual está submetida – algum tipo de deslocamento, seja vertical (recalques ou levantamentos), horizontal (deslizamentos) ou rotacional (emborcamento). Além de serem função das ações solicitantes, estes deslocamentos dependem de características tanto do solo de fundação, quanto da estrutura em si. Contudo, quando ultrapassado certos limites, estes deslocamentos podem despertar, na construção, graves problemas de ordem estética, funcional e/ou estrutural – limites que devem ser

eficazmente evitados. No caso específico de tanques de armazenamento, os principais efeitos que podem ser observados são:

- Funcionamento inadequado dos componentes do tanque, como o sistema de selagem do teto flutuante;
- Erro na medição do nível do produto armazenado;
- Esforços elevados em bocais de tubulações e equipamentos vinculados ao tanque;
- Tensões e deformações inesperadas na estrutura – podendo ocasionar vazamentos, até a perda da estabilidade estrutural.

Investigação geológica e geotécnica

Dado o porte dos tanques de armazenamento, bem como o investimento demandado para sua construção, faz-se imprescindível um completo estudo das características geológico-geotécnicas do terreno onde o equipamento será implantado (subleito e camadas profundas). A investigação geotécnica objetiva identificar camadas do solo presentes no maciço que servirá de subleito para a futura estrutura. Dever-se-á levantar e mapear suas propriedades físicas e mecânicas pertinentes ao projeto, bem como a posição do nível d'água (NA) e outras condições hidrogeológicas relevantes. Para sua execução, faz-se imprescindível a investigação de um traçado desde as primeiras etapas da concepção do empreendimento. Com base nas definições da ABNT NBR 6122 (2010) poder-se-á estabelecer as seguintes etapas de investigação:

- Reconhecimento inicial, com base em visitas e levantamentos do local, devendo-se obter uma série de informações da região do empreendimento, como topografia, históricos geotécnicos (instabilidade de taludes,



Figura 3 – Erros na medição do nível do produto armazenado e esforços elevados em bocais de tubulações/equipamentos vinculados aos tanques são dois dos principais efeitos que devem ser evitados.

presença de aterro/bota-fora, erosões, existência de contaminações no solo por ocupações anteriores, experiência local no projeto e execução de fundações precedentes, etc) e peculiaridades geológico-geotécnicas (presença de matacões, afloramentos rochosos, regiões brejosas ou coluvionares, minas d'água, etc);

- Investigação geológica, em função de condicionantes à obra, devendo-se ser conduzida uma vistoria geológica de campo por profissional especializado. Esta vistoria pode, adicionalmente, ser complementada por estudos geológicos específicos. A presença de solos moles exige a consulta a geotécnico especializado em melhoramento de solos moles ou geoenrijecimento.
- Investigação geotécnica preliminar, exigindo-se investigação de reconhecimento do terreno em questão – ainda nas fases de estudos preliminares ou de planejamento do empreendimento. O objetivo é o levantamento da estratigrafia e classificação do solo, da posição do nível d'água e do índice de resistência à penetração (NSPT), devendo consistir, minimamente, em sondagens percussão

com Standard Penetration Test (SPT). Contudo, para um completo levantamento do perfil geotécnico do local (estudo do material impenetrável à percussão, dever-se-á, em decorrência do porte da obra, dar preferência ao uso de sondagens mistas (associação da sondagem a percussão com a sondagem rotativa). Diretrizes para a programação (definição dos números, localização e profundidade) dos furos de sondagem podem ser obtidas pela ABNT NBR 8036 (1983);

- Investigação geotécnica complementar de projeto onde o envolvimento do projetista de fundações faz-se ainda mais notória, esclarecendo-se aspectos do subsolo relevantes ao comportamento da futura fundação, com base nas informações coletadas no estudo preliminar. A investigação é pormenorizada através de observações do nível d'água e verificações do material impenetrável a percussão, bem como do levantamento de parâmetros de resistência, deformabilidade e permeabilidade dos solos. Para tal investigação, além de



**A MELHOR PERFORMANCE EM INFORMAÇÕES
SOBRE
MELHORAMENHO DE SOLOS**

O SOFT SOIL GROUP ajuda você a tocar sucessos

Melhorar solos moles exige conhecimentos geotécnicos práticos e teorias profundas. Cada obra é um caso específico que exige solução específica. Solicite nossos Webinars para adquirir informações adequadas e valiosas. Entre em contato agora conosco pelo numero (21) 99359-9105.



www.softsoilgroup.com.br

sondagens adicionais, lança-se mão de uma série de ensaios de campo (in situ) e de laboratório. Novamente, a presença de camadas de solo mole no terreno do empreendimento, exige a consulta a geotécnico especializado em melhoramento e solos moles. A opção por estaqueamento sempre é perigosa, considerando-se a presença de aterros sobre o solo mole, o fenômeno do atrito negativo nas estacas, etc.

→ Investigação geotécnica complementar de execução aonde, durante a etapa de construção da fundação, novos ensaios podem ser necessários para dirimir questionamentos executivos (confirmação/retificação de parâmetros para projeto, grande variabilidade de solos encontrados, dificuldade construtiva do tipo inicialmente projetado de fundação, etc). Esta investigação também deve ser indicada e acompanhada pelo projetista de fundações, podendo ser ampliada pelo responsável pela execução da obra, lançando-se mão de quaisquer dos ensaios (de campo e/ou de laboratório) já mencionados. No que tange, mais especificamente, a investigação do subleito de tanques de concreto, o relatório técnico ACI 372 R (2003), em seu apêndice A, fornece recomendações para quantidade e locação de furos de sondagens tipo SPT (Fig. 2) sendo que, em casos de tanques com até 60m de diâmetro, deve ser executado um furo na região prevista para o seu centro, sendo os demais distribuídos ao longo da projeção do seu futuro costado – sendo que o espaçamento entre tais furos periféricos não deve exceder 30m. Para tanques com diâmetro superior a 60m, deve ser seguido o mesmo princípio, complementado por um nível intermediário de quatro furos (localizados entre o centro do tanque e a projeção do costado). Furos adicionais podem, ainda,

ser especificados no caso de uma das seguintes situações:

- Topografia irregular apresentada pelo local;
- Presença de regiões de aterro (pré-existentes à obra);
- Estratigrafia de solo apresentando significativa variabilidade horizontal;
- Previsão da construção de camadas de aterro em regiões adjacentes ao tanque.

(programação, realização e apresentação de resultados de investigações) e específicas (para estudo de viabilidade, projeto básico e projeto executivo de obras envolvendo a construção de aterros e fundações) podem ser obtidas na ABNT NBR 8044 (1983).

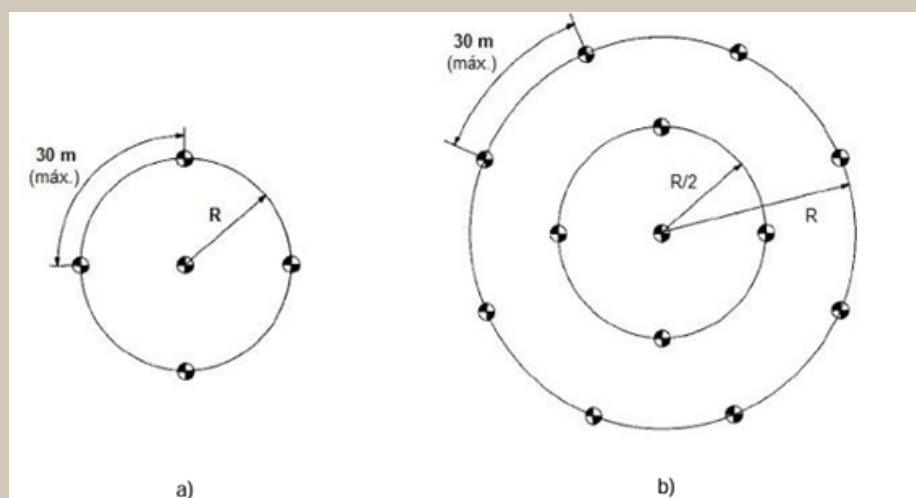


Fig. 4 - Recomendações de furos de sondagens para fundações de tanques de concreto: A) Com diâmetro entre 15m e 60m; B) Com diâmetro superior a 60m (adaptado de ACI 372 R(2003))

A profundidade dos furos de sondagem deve permitir caracterizar os materiais impenetráveis à percussão (maciço rochoso, rocha alterada ou, eventualmente, solo residual jovem) – segundo critérios de parada apontados pelas normas brasileiras. Para o caso específico de tanques em concreto, o relatório do ACI recomenda que, para cada equipamento, ao menos um dos furos penetre até uma profundidade equivalente à 75% do raio do tanque (não sendo inferior à 18m) – sendo que todos os demais furos devem ter uma profundidade ao menos igual à 25% do raio do tanque (porém não inferior à 9m), cabendo ao projetista de fundações a elaboração das programações da investigação preliminar e complementar, bem como a seleção e análise dos ensaios adotados. Diretrizes gerais

Concepção da base do tanque

A base de tanques de armazenamento é composta, basicamente pela superfície preparada do terreno natural (subleito) e pelas eventuais camadas de aterro subseqüentemente executadas (camadas suporte), devendo ser adequadamente concebida e projetada, de tal forma assegurar uma série de características (construtivas ou operacionais) necessárias ao funcionamento do equipamento. Dentre as responsabilidades atreladas a bases de tanques, pode-se citar as seguintes:

- Resistir e distribuir esforços verticais: a base do tanque deve garantir que a capacidade de carga da fundação seja suficien-

te para suportar o peso próprio do equipamento e do seu conteúdo armazenado (tanto produtos a serem estocados, como água para seu teste hidrostático), bem como quaisquer outros carregamentos que venham a atuar;

→ Manter a conformação superficial da base do tanque onde, subleito e camadas suporte devem apresentar um comportamento uniforme suficiente para minimizar e limitar movimentos relativos da fundação (em especial, distorções sob o fundo e recalques diferenciais sob o costado). No caso de solos com propriedades especiais (colapsíveis, expansivos, etc), medidas especiais, com melhoramento de solos, devem ser tomadas para o efetivo controle de deslocamentos (recalques ou levantamentos).

Definição do tipo de fundação

Dependendo das condições apresentadas por cada situação, tanques de armazenamento podem e devem ser concebidos apenas com fundações superficiais (radiers). A definição do tipo de fundação a ser adotada é feita após a análise conjunta de aspectos locais, cargas atuantes e características da estrutura – envolvendo fatores tais como resistência (capacidade de carga) e comportamento do solo (adensamento), diâmetro e altura do tanque, além de exigências operacionais (recalques e distorções limitrofes). De fato, a fundação superficial de tanques de concreto consiste basicamente na própria laje de fundo do equipamento, que desempenha o papel de um radier. Pode-se recorrer ao aumento da sua espessura em regiões de aplicação de cargas concentradas, resguardando-a do efeito de punção (radier em laje cogu-

melo, Fig. 5). Desta forma, confere-se à estas regiões da laje de fundo comportamentos análogos ao de sapatas corridas (na região da borda do radier, abaixo do costado) e de sapatas isoladas (abaixo de pilares internos, eventualmente demandados por tetos fixos suportados). Esta variação de espessura pode ser prevista voltada tanto para o lado inferior, como para o superior do fundo, deixando a face oposta da laje completamente plana.

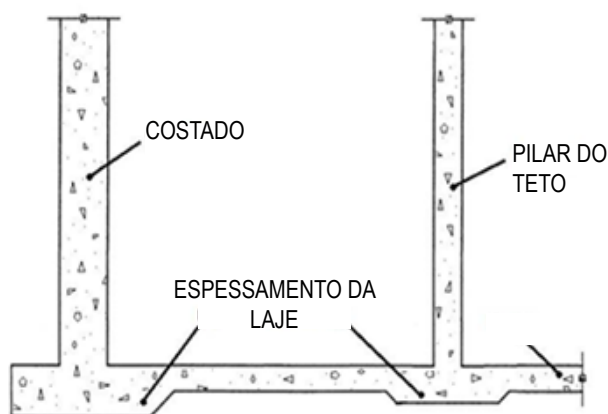


Fig. 5 - Corte esquemático demonstrando o espessamento da laje de fundo em regiões sujeitas a punção.

Concepção hidráulica do fundo

Sob o ponto de vista de escoamento, são tipicamente encontradas três concepções geométricas para fundos de tanques de armazenamento, com fundo plano, fundo cônico com caimento do centro para periferia (cone up) e fundo cônico com caimento da periferia para o centro (cone down). Em tanques convencionais de aço, fundos planos são aplicáveis apenas para equipamentos de pequeno diâmetro (até 6m), sendo os fundos cônicos aplicáveis à maioria das situações, tanto por auxiliar no esgotamento dos materiais estocados (produtos, águas associadas, borras oleosas, etc) até pontos de coleta (bocais de saída, bacias de drenagem, etc), como por minimizar efeitos de recalques. Fundos com centro mais elevado apresentam

vantagens, como facilidade de drenagem dos produtos e águas associadas (coleta periférica, na proximidade do costado), reduzindo a quantidade de tubulações e instalações internas (de difícil inspeção e manutenção); minimização dos efeitos de recalques (maiores na região central, onde são compensados pela maior cota

de fundo apresentada); apresentação da estrutura do fundo funcionando sob compressão, o que diminui riscos de vazamentos (efeito amplificado pela presença de recalques); redução, no caso de tanques com tetos flutuantes externos, da contaminação do produto por água de chuva que venha a ultrapassar o sistema de selagem e percole através do costado interno (essa água percorre menor distância até os pontos de drenagem do fundo, localizados próximos ao costado); e diminuição, pela sua geometria, do volume morto apresentado por tanques com teto flutuante. Por sua vez, fundos invertidos (com centro rebaixado), apresentam como vantagem a maior rapidez na drenagem tanto dos produtos, como na de contaminantes (resíduos e águas decantadas) que afetam sua qua-



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!**

lidade. Devido a sua constituição – lajes espessas com boa resistência à flexão –, fundos de concreto apresentam melhores condições de manter sua configuração original ao longo da vida operacional, minimizando distorções e uniformizando recalques. Devem, como em qualquer tanque de armazenamento, ter a camada de solo da sua base adequadamente projetadas e executadas, de forma a impedir a geração de esforços excessivos na sua estrutura e na sua ligação com tubulações e equipamentos. Por último, cabe observar que o ACI 350.2 (2009) recomenda que fundos de estruturas destinadas ao armazenamento de produtos perigosos apresentem um mínimo de 2% de caimento, para facilidade dos seus sistemas de drenagem. Concepção estrutural do fundo O fundo do tanque deve ser projetado com três enfoques básicos: transmissão de esforços (decorrentes do armazenamento) às fundações; estanqueidade compatível com a estocagem de líquidos; e flexibilidade estrutural adequada à absorção de parcela dos efeitos oriundos dos recalques diferenciais. Com respeito ao seu comportamento estrutural, as lajes de fundo costumam ser classificadas por normas e documentos técnicos, segundo seu comportamento, em dois tipos: fundo flexível (concrete membrane floors) e fundo rígido (concrete structural floors). Lajes de fundo flexíveis devem ser capazes de transmitir seus carregamentos verticais às camadas suporte sem, no entanto, serem solicitadas por esforços de flexão em seu interior. Podem ser con-

cebidas armadas ou protendidas, e, apesar de poderem contemplar em seu dimensionamento a presença de (pequenos) recalques diferenciais, são mais recomendadas para situações onde uma considerável homogeneidade possa ser assegurada pelo apoio. Além disso, para garantia da estanqueidade, devem ser concretadas em pano único, sem a existência de juntas (frias) de concretagem. Por suas características, não admitem o tráfego de veículos sobre sua superfície (em condições construtivas ou de manutenções). Lajes de fundo rígidas são utilizadas em circunstâncias onde esforços de flexão ganhem notoriedade em sua estrutura – tais como situações sujeitas a fortes subpressões (de águas subterrâneas), a elevados recalques e/ou à alta heterogeneidade de apoio (tais como bases de rigidez variável, construídas sobre regiões de cortes e aterros). Apesar de admitirem a existência de juntas de construção, com adequadas medidas de controle da estanqueidade, devem ser minimizadas ao máximo, tendo em vista serem pontos sensíveis da estrutura.

Movimentos e comportamentos da fundação

Movimentos de fundação consistem em deslocamentos lineares (recalques, levantamentos e deflexões) ou angulares (rotações, desaprumos, distorções e deformações) apresentados pela fundação de uma estrutura, após sua construção (Fig. 6). Podem ser medidos em relação a um referencial inalterado (como a posição original da estrutura; p.ex.: recalque total), ou em relação pontos internos

da estrutura que também tenham sofrido deslocamento (p. ex.: recalque diferencial). Destes deslocamentos, os mais prejudiciais à estrutura de tanques de armazenamento são os recalques diferenciais e as distorções angulares – sendo ambos promovidos por adensamentos ocorridos de forma desigual ao longo do seu fundo. A magnitude dos adensamentos passíveis de ocorrência depende de características da estrutura, do solo e – principalmente – da interação entre ambos. No caso de tanques, podem ser citados os seguintes fatores:

→ Aspectos da sobrecarga: características tanto da estrutura – peso próprio do tanque e acessórios –, quanto do armazenamento – volume (altura e diâmetro internos) e pesos específicos (dos produtos e da água de teste hidrostático);

→ Desenvolvimento do carregamento: efeito relativo entre a velocidade de aplicação da carga e a velocidade de percolação da água subterrânea pela estrutura granulométrica do solo (estado de variações das poro-pressões) – resultando em comportamentos drenados ou não drenados;

→ Características do solo: parâmetros do maciço que regem a resposta do terreno a carregamentos no curto prazo (deslocamentos elásticos), no longo prazo (adensamento secundário) e em situações excepcionais (como a liquefação do solo).

Por particularidades da sua constituição e função, tanques de armazenamento costumam apresentar níveis de cargas vivas muito superior ao de cargas mortas: o peso próprio da estrutura é apenas uma pequena fração do peso de líquido armazenado (água ou produto) – carga essa que pode ser totalmente aplicada em questão

de horas. Tais ações, associadas ao elevado diâmetro do equipamento, promovem acréscimos de tensão que chegam até camadas muito profundas do solo, o que amplifica o alcance dos dois últimos fatores mencionados. Parte fundamental do projeto geotécnico consiste no estudo de todos esses comportamentos, bem como dos recalques subsequentes. É dessa análise – que deve ser conduzida por profissional especializado – que sairão as diretrizes tanto para dimensionamento das fundações, como para o projeto de eventual melhoria do solo, com geoenrijecimento.

Projeto de terraplanagem e de melhoria de solos

Com foco nas diretrizes do projeto, bases de tanques são dimensionadas definindo-se material e espessura de suas camadas constituintes, tipicamente compostos por material estabilizado granulometricamente (solo natural, brita graduada simples, areia, etc). As camadas suporte, devem ser devidamente compactadas e, eventualmente, entremeadas por geossintéticos para cumprimento das mais diversas funções. Além de conter todas essas especificações, o projeto de terraplanagem deve contemplar, também, toda a movimentação de terra necessárias (cortes, aterros, transportes, espalhamentos, compactação, etc) para conferir ao subleito e camadas suporte a configuração desejada. Caso o solo natural se mostre inadequado (técnica e/ou economicamente) para o cumprimento de tais funções, deve-se lançar mão do melhoramento do

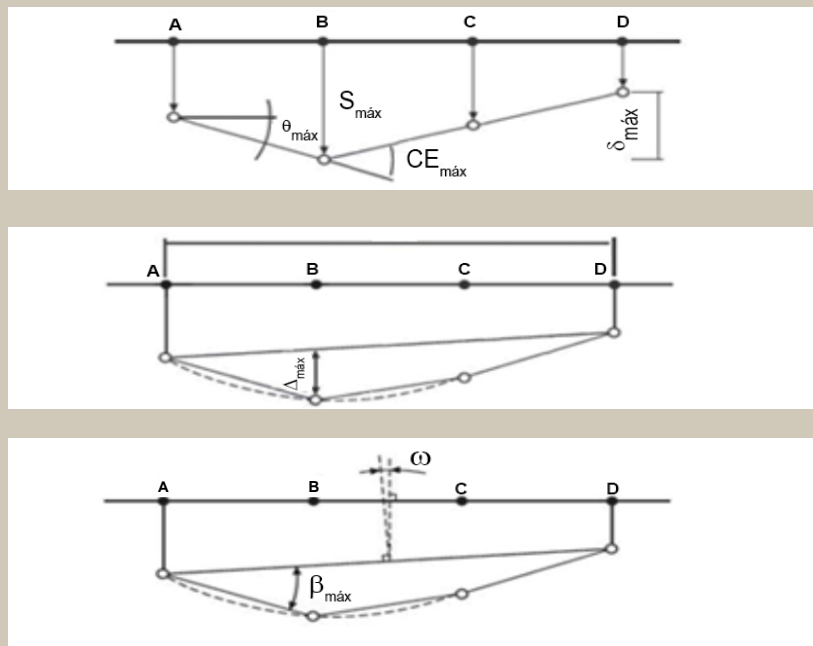


Fig. 6 - Movimentos de fundação típicos: s , de recalque ou levantamento total; δ , Recalque diferencial ou levantamento relativo; Δ , deflexão relativa; Δ/L , relação de deflexão; ϕ , rotação; β , distorção angular (ou rotação relativa); ω , desaprumo; α , deformação angular.

solo, readequando-o a condição do projeto. A melhoria do solo é feita com geoenrijecimento que, para o caso da presença de camadas de argilas moles, utiliza-se o CPR Grouting. Para a presença de areias fofas, utiliza-se o Compaction Grouting. A utilização de precarregamento com Geodrenos deve ser evitado quando o solo de fundação apresenta camadas de solos moles ou fofos superiores a 5m de profundidade. Da mesma forma, a troca completa do solo pode ser uma alternativa vantajosa para pequenas espessuras de camadas mole, e inviável para elevadas. Comparativos técnicos e econômicos de alternativas para melhorias de solos podem ser obtidos no livro “Melhoramento de Solos Moles e o Geoenrijecimento”. Além de interferir no adensamento do solo de fundação, a água subterrânea pode, igualmente, impor elevada solicitação sobre a estrutura do tanque. Nestes casos, camadas de solo e geossintéticos devem

ser utilizados, de tal forma que proporcione drenagem adequada do lençol freático existente. Independentemente da finalidade das camadas suporte (drenagem, elevação da cota do fundo, troca de solo, etc), todo material de aterro deve ser de boa qualidade e duradouro, sendo isento de vegetação, outros materiais orgânicos e substâncias que possam promover deterioração ao fundo do tanque. O anexo C da ABNT NBR 7281 (2012), que trata da fundação de tanques de armazenamento em aço, recomenda que o material seja, minimamente, equivalente ao que é usado em aterro rodoviário de primeira categoria.

Inspeção e controle geotécnico de curto prazo

Conforme estabelece a ABNT NBR 6122 (2010) – e tendo em

vista a criticidade do comportamento geotécnico de tanques de armazenamento – torna-se fundamental a monitoração do desempenho de suas fundações, durante e depois da sua construção, por meio de instrumentação de campo, incluindo inclinômetros verticais próximos ao costado, inclinômetros horizontais sob o fundo, pinos de referência fixados na periferia da fundação/estrutura do tanque, entre outros. Sua função é fornecer leituras de grandeza física que possibilitem a correta interpretação geotécnica da situação, permitindo a previsão e/ou o controle do desempenho da obra. Critérios e ensaios para controle do desempenho de elementos de fundação podem ser obtidos na ABNT NBR 6122 (2010). Fatores a serem monitorados durante a execução das camadas suporte da base do tanque, bem como ensaios e procedimentos de controle pertinentes, podem ser obtidos pelo estabelecido pela norma ABNT NBR 5681 (2008).

REFERÊNCIAS

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 506 R/2005: Guide to Shotcrete. Farmington Hills: ACI, 2005.
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API RP 545/2009: Recommended Practice for Lightning Protection of Aboveground Storage Tanks for Flammable or Combustible Liquids. Washington, D.C.: API, 2009.
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API STD 650/2007: Welded Tanks for Oil Storage. 11th. ed. Washington, D.C.: API, 2011. Publicação, jun. 2007; Adendo 1, nov. 2008; Adendo 2, nov. 2009; Adendo 3, ago. 2011; Errata, out. 2011.
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API STD 653/2009: Tank Inspection, Repair, Alteration and Reconstruction. 4th. ed. Washington, D.C.: API, 2012. Publicação, abr. 2009; Adendo 1, ago. 2010; Adendo 2, jan. 2012.
- BARROS, S. M. Tanques de Armazenamento. Rio de Janeiro: Universidade Petrobras, 2012. 602 p.
- BOEHM, D. Tank installation in challenging environments. Tank Storage Magazine, Surrey, v. 4, n. 4, p. 77-79, Aug. 2008.
- BUSSARD, W. A. Evaporation losses and their control in storage. Petroleum Processing. Cleveland, p. 104-125. 1956.
- CAMARGO, X. I. S. Tanques para armazenamento de petróleo e hidrocarbonetos líquidos. Nº Patente: C30106456-8, 02 abr. 2008.
- Luiz Feliz Alves, Tanques de armazenamento em concreto protendido para petróleo, derivados e biocombustíveis.

Medidor Portátil do Perfil de Recalques

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.
- Fontes e viadutos.
- Recalque do solo de fundação.

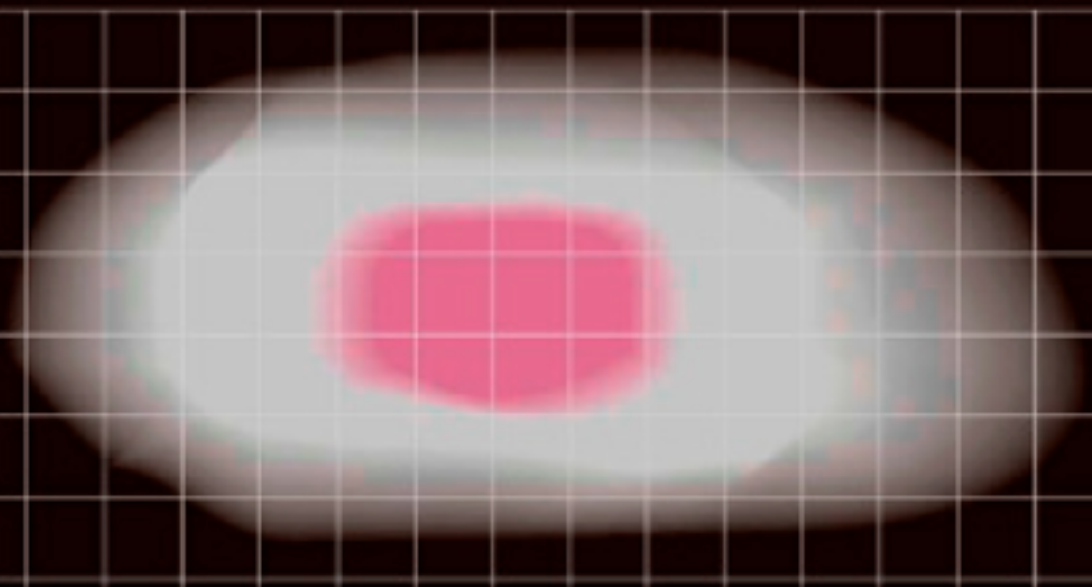


Instalação do medidor do perfil de recalques

Para maiores informações, acesse: www.regerte.com.br
ou atendimento@regertec.com.br

Soft Soil
Group

contaminação de solo?

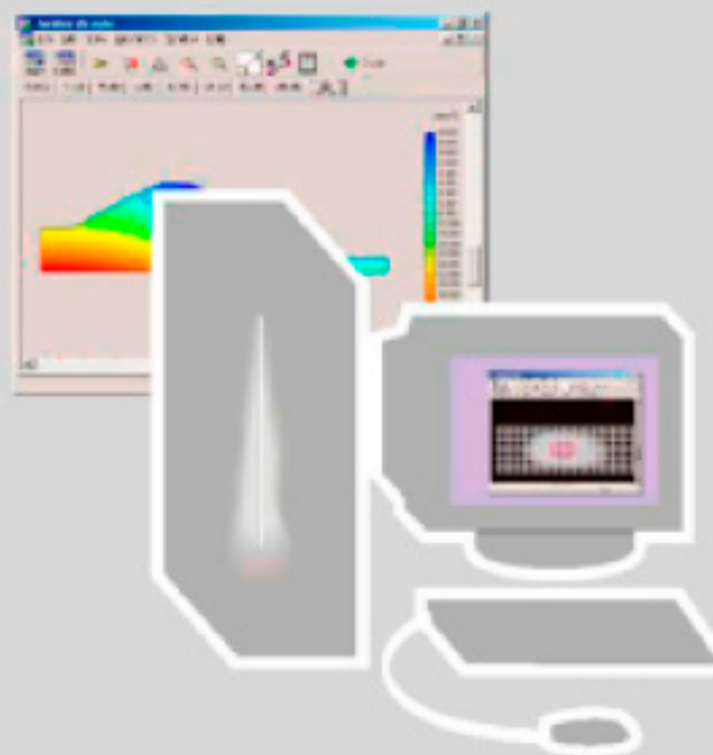


O segredo do tratamento de solos contaminados está na adequação do processo de compressão, confinamento e adensamento do solo, analisado com piezômetros e imagens tomográficas antes e depois.

Confie em quem tem experiência.



www.engegraut.com.br



RECALQUES DIFERENCIAIS EM COMO CALCULAR E MONITORAR.

Fig. 1 - Fundos de tanques de armazenamento quando recalcam sofrem enorme variabilidade de tipos de distorção.



Patrícia
Karina Tinoco

Grandes tanques metálicos verticais de armazenamento são estruturas flexíveis, no entanto, há tolerância tanto para recalques quanto para distorções, razão pela qual inúmeros tanques já romperam, causando prejuízos de todo tipo. Para evitar recalques diferenciais no fundo de tanques, exige-se três procedimentos:

1º Estimativa da intensidade e da velocidade do recalque;

2º Estimativa da forma do fundo do tanque após recalques;

3º Critérios para se julgar a aceitação de recalques diferenciais;

Se o recalque diferencial estimado é grande o suficiente para provocar inclinação no tanque, poder-se-á interrompê-lo, melhorando o solo, “macaqueando-se” a estrutura para a posição original.

A questão do recalque diferencial e a mecânica da rutura do tanque.

O controle do recalque (velocidade e intensidade) em tanques industriais de armazenamento, fornecem base extremamente útil para se compreender sua condição e prever seu comportamento futuro. Torna-se importante também, embora nem sempre seja possível, obter parâmetros



TANQUES INDUSTRIAIS.

geotécnicos da compressibilidade do solo. A experiência em monitoramento de tanques industriais, mostra-nos que fundos de tanques de aço sofrem uma enorme variedade de tipos de distorção, na medida em que recalcam. Em alguns casos o centro do tanque deforma mais, em outros, o maior recalque ocorre entre o centro e a borda. Não é comum o recalque máximo ocorrer na borda do tanque. Existem numerosos exemplos de problemas em tanques, que resultaram em transbordamentos ou complicações como telhados

flutuantes ineficientes, danos no costado, vazamentos, chegando a ruptura completa, com perda do conteúdo do tanque. Para se neutralizar a incidência de um processo de recalque, torna-se necessário analisar o projeto de fundação, a condição do solo, a geometria e o carregamento do tanque, assim como seu procedimento de drenagem. Quase que invariavelmente grandes tanques, com mais de 15mts de diâmetro, são construídos em terrenos com presença de camadas de solos moles, produzindo distorções não planares, com ampliação de carregamento uniforme. O padrão

do carregamento, na fundação de um tanque, quando cheio, promove carregamento uniforme, como resultado da pressão hidrostática. A borda da fundação, no entanto, é diferenciada da região central, já que termina perto da parte externa do tanque e, muitas vezes, é construída com materiais diferentes, gerando comportamento diferenciado no solo e promovendo recalque não uniforme. Exatamente por este importante detalhe, que uma parte significativa dos problemas de recalques, ocorrem na borda externa

da fundação. O processo de rutura, portanto, pode ocorrer pelos seguintes efeitos:

- Fixação do teto em tanques com teto flutuante;
- Desgaste prematuro das vedações do teto flutuante;
- Deformação no costado do tanque com teto fixo ou flutuante;
- Flambagem em tanques com teto fixo;
- Perda do apoio das colunas que sustentam o teto (fixo);
- Fissuramento nas linhas de soldas;
- Tensionamento nas tubulações conectadas;
- Corrosão acelerada, devido a mudança no padrão da drenagem fora do tanque;
- Drenagem inoperante ou menos eficiente no interior do tanque, especialmente quando há fundo côncavo, convexo ou de inclinação única;
- Vazamentos no fundo do tanque ou em seu costado devido a recalques.

Vazamentos podem significar trincas/ fissuras no fundo do tanque, o que representam uma séria ameaça à sua integridade. A lavagem do material que compõe o subleito, imediatamente a seguir ao vazamento inicial, aumenta o quadro de trincas/ fissuras, ocorrendo falta de suporte, seguindo de colapso da fundação e rutura. Fundos de tanques de armazenamento, costumam ter fundos planos, que recalcam de 5 maneiras triviais:

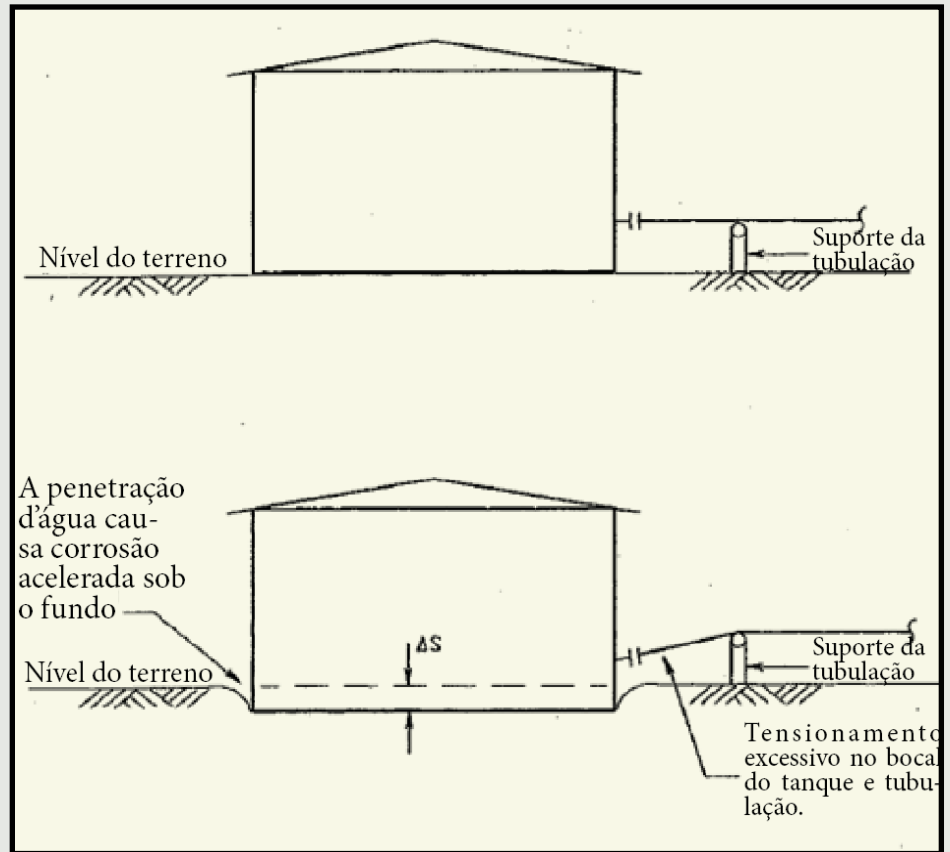


Fig. 2 - Recalque uniforme.

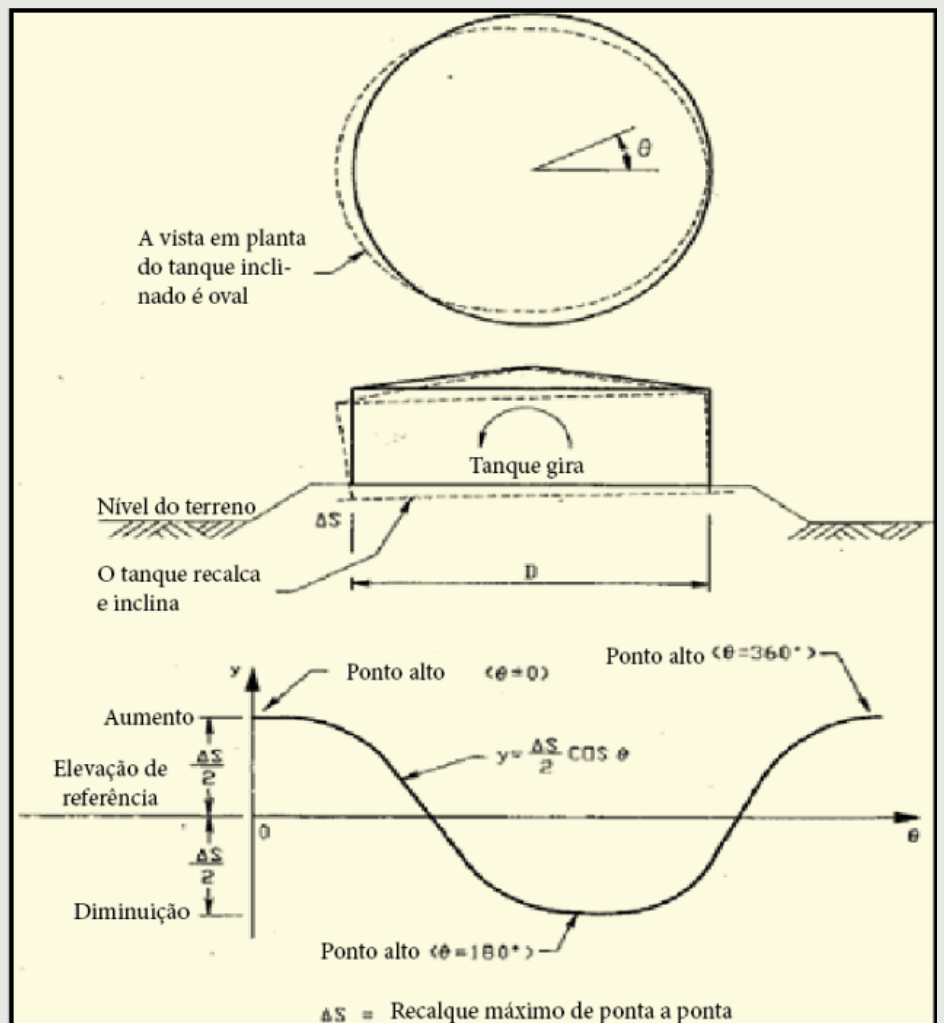
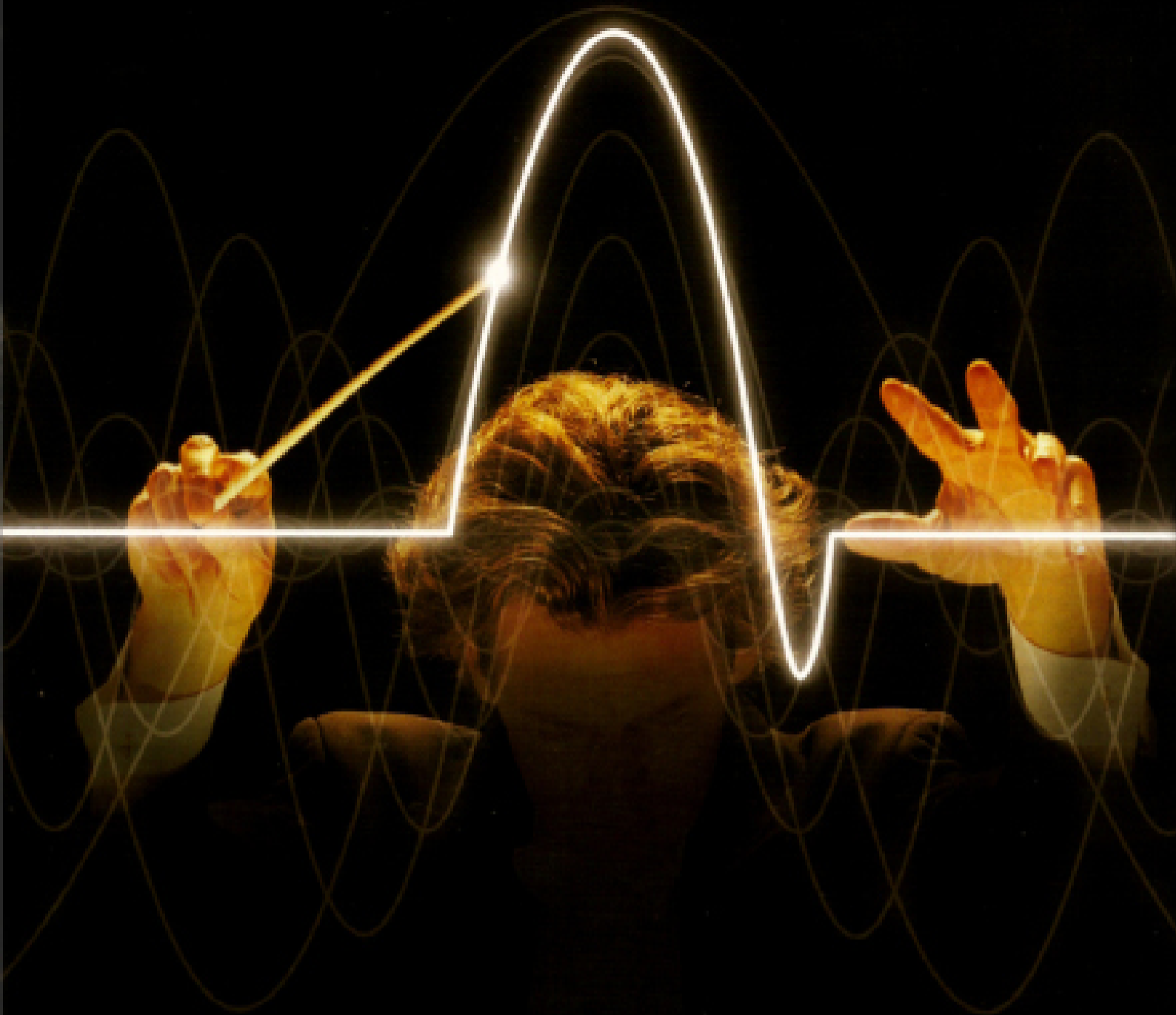


Fig. 3 - Recalque com inclinação de modo plano.

Soft Soil Group
Apresenta



Webinars
solos moles

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



1- Recalam de maneira uniforme

Neste tipo de recalque, invariavelmente há presença de camadas de solo mole, que sofre consolidação, reduz de volume e faz o tanque afundar. O tanque em si nada sofre, no entanto, ocorrem efeitos colaterais como espaçamento no entorno e sob o fundo, causando corrosão. A tubulação começa a ser estrangulada (figura 2).

2 - Inclina de modo plano

O tanque inclina (ver figura 3), como uma estrutura rígida, geralmente devido a uma associação de tipos de recalques, prevalecendo o uniforme. É extremamente desagradável observar uma estrutura fora de prumo, onde funcionários ou pessoas começam a questionar a segurança. A inclinação de modo plano, limitado a $D/50$ é aceitável. No entanto, a inclinação faz aumentar a carga hidrostática.

3 - Com recalques diferenciais ao longo do costado

Uma das formas mais fáceis de avaliar a existência de recalques, ver na figura 5, é fazer monitoramento ao longo da circunferência do costado do tanque, junto a lateral do seu fundo. Trata-se de um misto de recalque uniforme e inclinação plana. Seu fundo deixa de ser uma estrutura plana, conforme figura abaixo. As leituras do monitoramento podem ser plotadas conforme a figura, que justifica deformações como uma “avaliação, que causa enormes problemas em sua estrutura.

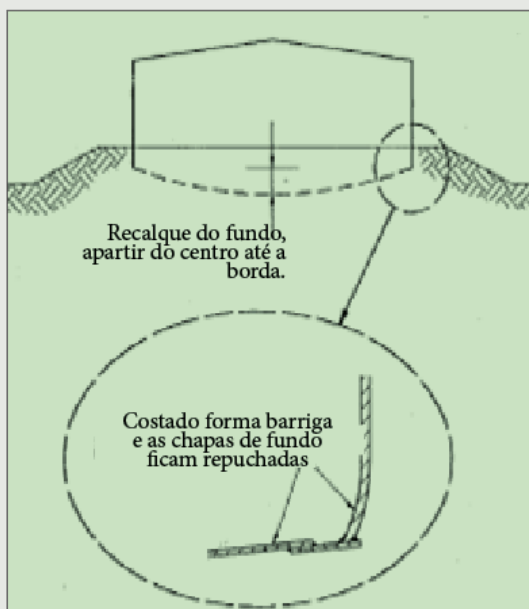


Fig. 4 - Recalque na forma de "prato".

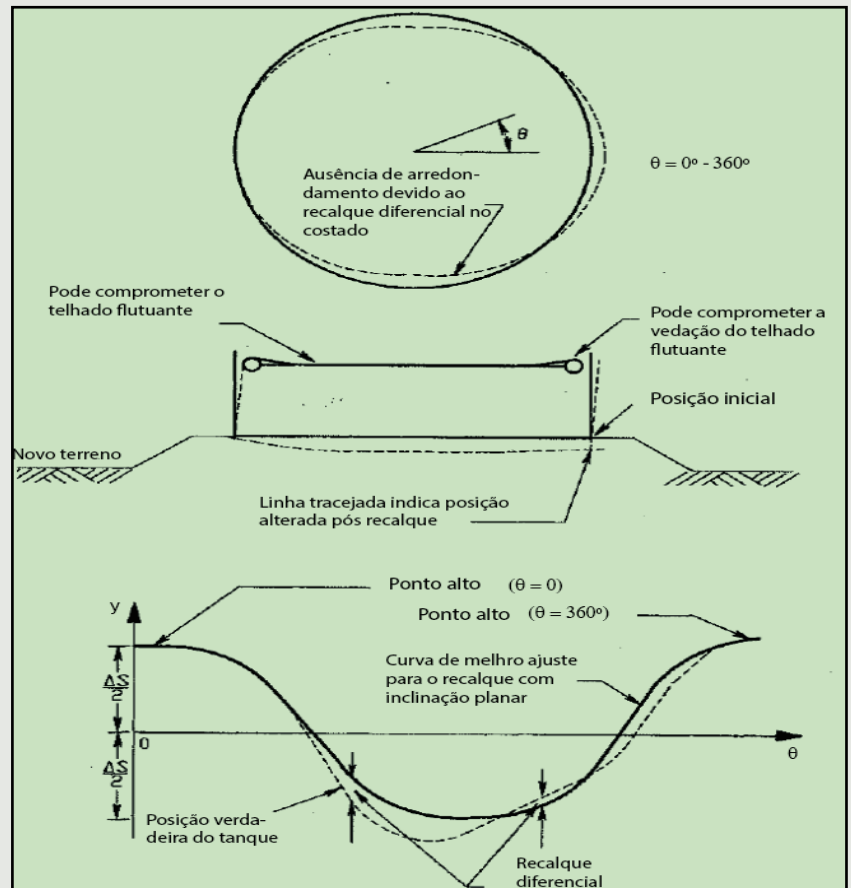


Fig. 5 - Recalque diferencial no tanque

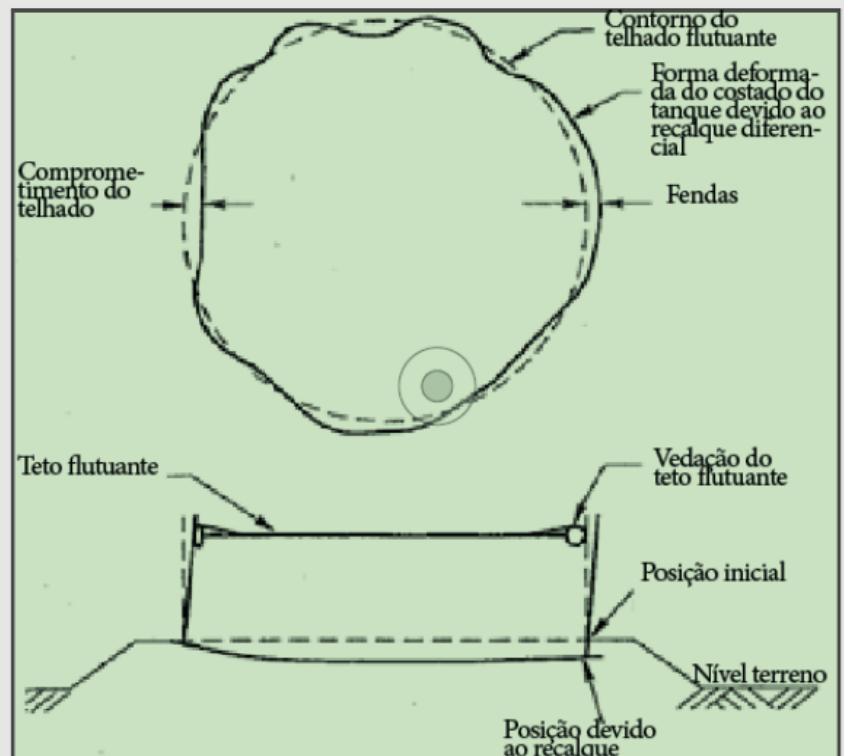


Fig. 6 - Perda de condição redonda do tanque devido ao recalque diferencial

4 - Formando "pratos" de maneira global.

Todo o fundo do tanque deforma, em relação ao seu costado, podendo estar associado a outras formas de recalque. Seu fundo

toma a forma de um "prato", ocorrendo critérios de diversos tipos, associado a diversos problemas:

- Tensões de tração nas soldas da chaparia do costado/ fundo;

- Alterações no volume do tanque;
- Problemas na drenagem ao nível do fundo do tanque, formando poças.

5 - Recalque localizado na região central do fundo

Ocorre no interior do tanque, conforme figura 8 ao lado, assumindo a forma de depressões. Este tipo de recalque é inevitável em fundações, devido a variação na composição e espessura das camadas de solo empregado. Quando existem ou se formam grandes vazios sob o fundo do tanque, placas podem levantar.

Tanques com recalques na borda

Situa-se junto ao costado, conforme figura 9, abrangendo chapas do fundo, o que é difícil de identificar pelo lado de fora do tanque. Por dentro, no entanto, é uma das formas mais relevantes e distintas de recalque. Ocorre geralmente quando sua base é feita com solo de qualidade questionável e/ ou mal compactado. Geralmente construído ao nível da rua, sua base sub-

mete-se a processos de molhagem/ secagem, tornando o solo compressível. Uma base de fundação rente ao costado, costuma agravar o recalque na borda do tanque, devido ao efeito compressivo ali existente.

Renivelando o tanque

Trata-se de um processo bem comum, na medida em que constata-se que há recalque excessivo e que poderá provocar mais problemas, como falta de prumo das virolas do costado, vazamentos nas chapas do fundo, empenamento excessivo e tensionamento.

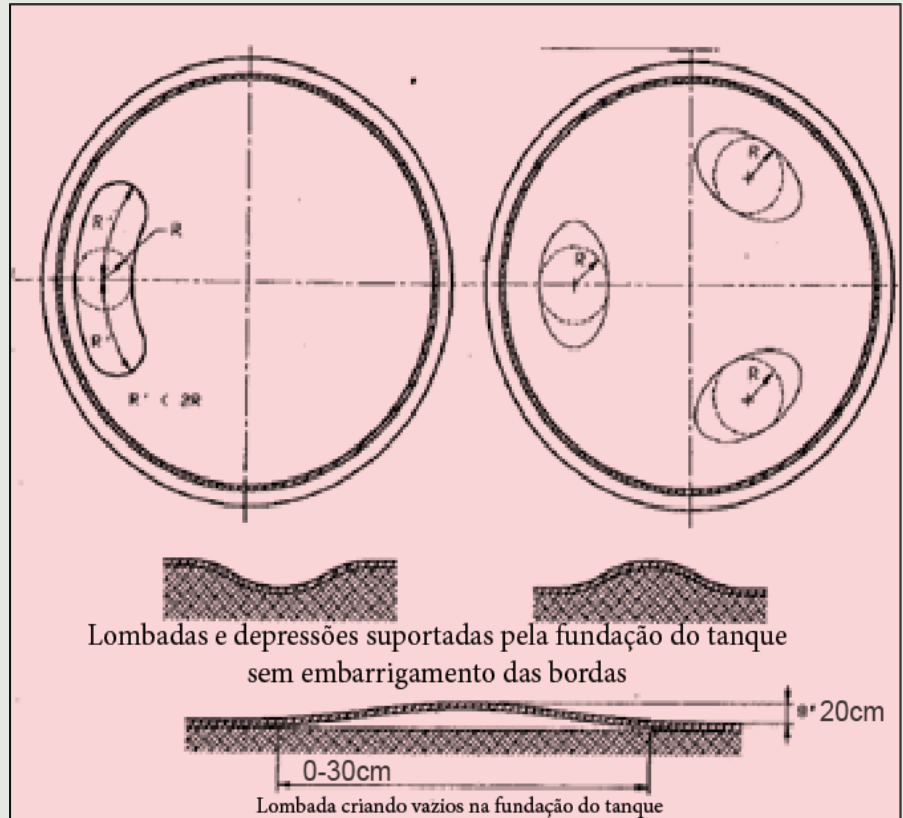


Fig. 8 - Recalque do fundo

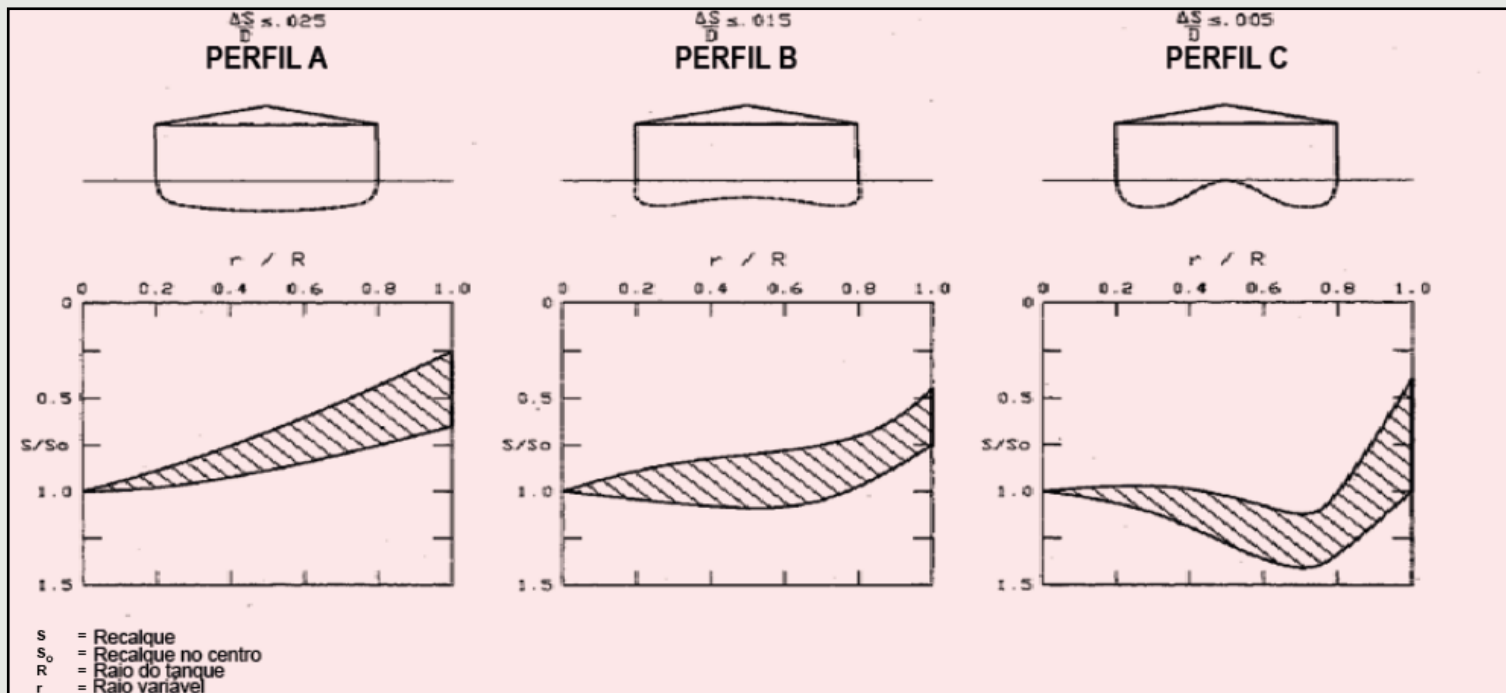


Fig. 7 - Recalque normalizado do fundo do tanque

Quando tanques com teto flutuante deformam, de maneira diferencial, sua estrutura empena e o sistema de vedação entra em colapso. O renivelamento corrige estes problemas, fazendo com

que o tanque adquira, novamente, o formato redondo. Ao final do serviço de renivelamento deve-se testar o tanque hidrostáticamente, as tubulações interligadas devem ser avaliadas se estão

tensionadas ou mesmo desconectadas e as soldas no costado inspeccionadas. Tubulações subterráneas devem ficar expostas de modo a serem monitoradas.

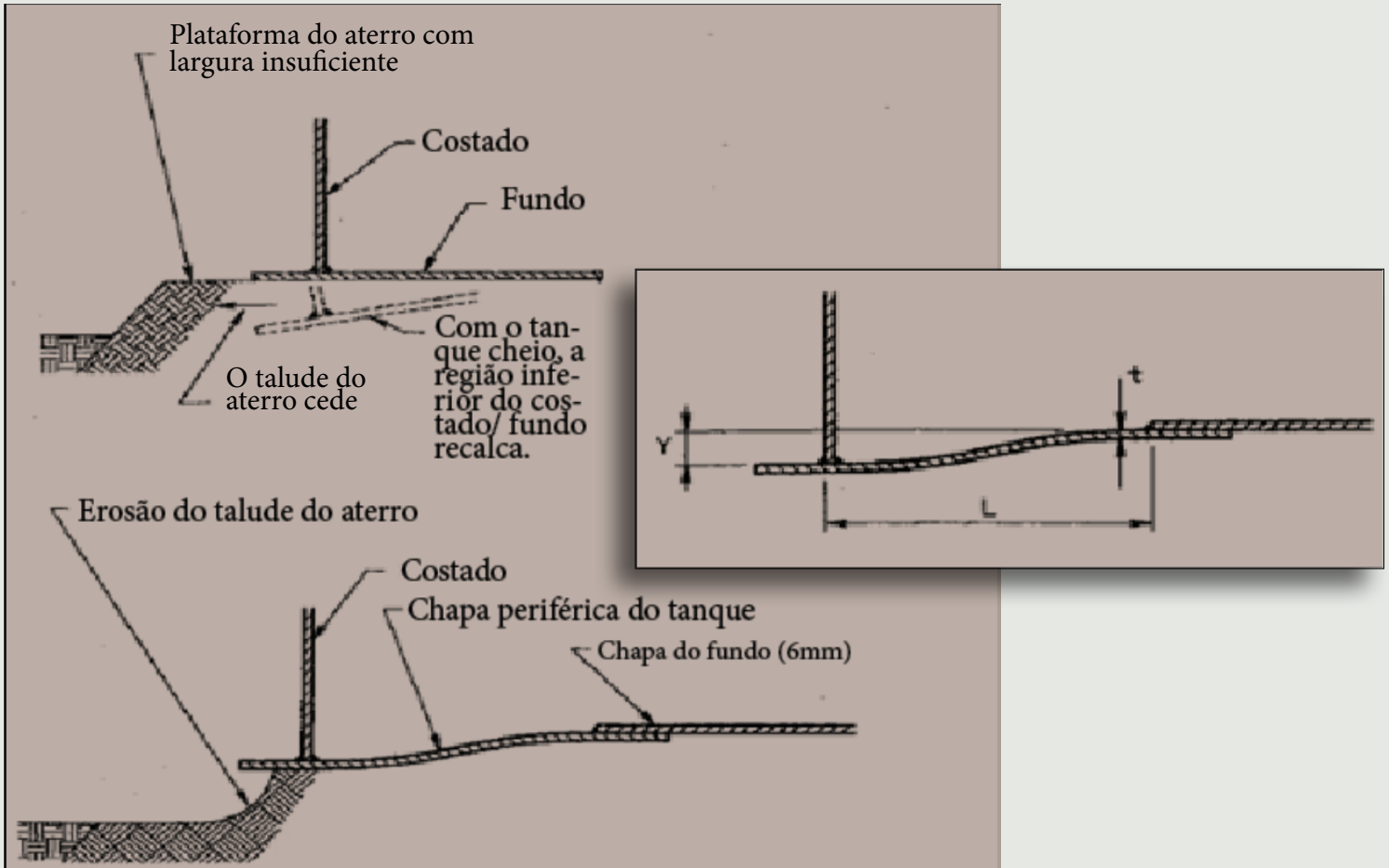


Fig. 9 - Recalque de borda

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

para maiores informações acesse: www.engensoft.com.br/geonijecimento ou atendimento@engensoft.com.br

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>

O desenvolvimento de recalques diferenciais, em tanques, tem diferentes origens:

Pertinente ao carregamento.

- Intensidade diferenciada de cargas de um apoio para outro;
- Distribuição não uniforme das cargas sob os de uma extremidade a outra;
- Área de apoio do tanque apresentando cargas diferenciais entre apoios;

Pertinente aos seus suportes.

- Geometria dos apoios (dimensão, profundidade);
- Rigidez dos apoios.

Pertinente ao solo.

- Variação das características geométricas das camadas;
- Variabilidade litológica.

Aqui já fica evidente que o recalque diferencial é a condição mais prejudicial para tanques industriais, razão pela qual exige-se, sempre, o melhoramento do solo, com geoenrijecimento, de modo a enrijece-lo e, principalmente, homogeneizando-o. As causas de recalques em solos de fundação de tanques industriais costumam ser as seguintes:

- Acomodamento da camada do solo superficial;
- Carregamento das camadas do solo, sob a base do tanque, devido a penetração d'água ou qualquer fluido de armazenamento;
- Comprometimento das camadas do solo, sob a base do tanque, devido a rutura de tubulações enterradas;

Nestas três causas, observa-se que, após a surgência do acomodamento, da saturação do solo ou do carregamento, ocorre perda de resistência e a nova ação das cargas deixa de ser uniforme ocorrendo recalque diferencial. As causas possíveis são:

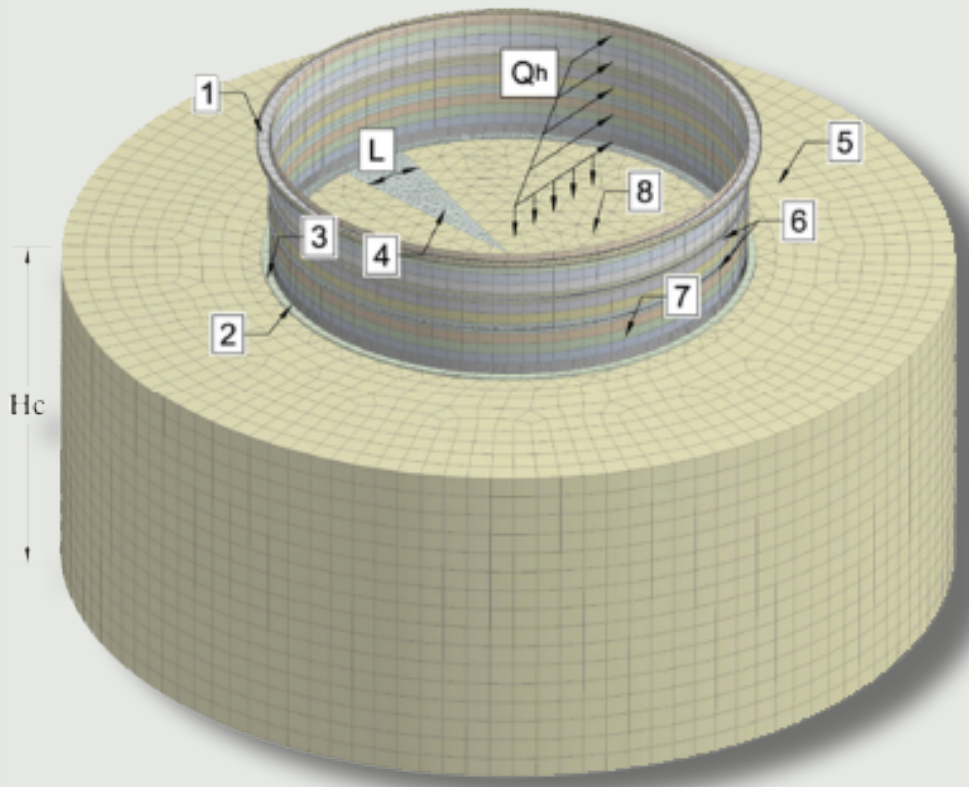


Fig. 10 - Modelagem numérica para o desenvolvimento de recalque diferencial em um tanque de 50.000m³, com teto flutuante, que apresenta camadas de solo heterogêneas sob sua fundação. A determinação do real estado de tensão/ deformação do tanque, durante o desenvolvimento de recalques diferenciais é extremamente importante para analisar seu limite deformativo.

1 - Anel de enrijecimento, 2 - Borda do fundo do tanque, 3 - Anel de concreto armado da fundação, 4 - solo muito comprimido mas muito heterogêneo, 5 - solo base com características de projeto, 6 - Anéis de enrijecimento ao longo do costado, 7 - Costado, 8 - Fundo.

Qh é a carga hidrostática, L comprimento do setor sobre a zona de heterogeneidade do solo ao longo do contorno inferior externo, Hc profundidade comprimida.

- Fundação inadequada, ocorrendo relação descabida entre a pressão exercida no subleito e a capacidade de carga do solo;
- A presença de camadas de solo mole ou areias fofas no solo de fundação é uma causa muito frequente de recalques diferenciais, que ocorrem lentamente sob a ação do carregamento do tanque, podendo durar muitos anos ou mesmo décadas. A presença de solos moles ou areias fofas implica, necessariamente, na execução do melhoramento do solo, com geoenrijecimento. A utilização de estacas, na presença de solos moles, é prejudicial por vários aspectos, entre eles a ação do atrito negativo no corpo das estacas, o recalque diferencial das tubulações em relação ao tanque, etc;
- Aterros já existentes, com capacidade de carga duvidosa;
- Modificação no nível hídrico da região, devido a construção de obras vizinhas ou mesmo processos de rebaixamento do lençol freático;
- Combinação utilizando-se fundação direta e profunda em uma mesma obra;
- A colocação de aterros na borda da obra;
- A vibração produzida por tráfego rodoviário ou por máquinas;
- A heterogeneidade do nível de consolidação das diferentes camadas de solos, que constituem a fundação do tanque.

Calculando o recalque do tanque

Existem dois métodos para determinar o recalque de um tanque com fundação direta, são eles:

- Método com base em ensaios realizados em laboratório, essencialmente o edométrico, especialmente quando há solos argilosos-siltosos;
- Métodos baseados em resultados de sondagens de campo, como o SPT, CPTu e o pressiómetro, particularmente quando não há retirada de amostras do solo;

O ensaio edométrico possibilita a simulação do recalque e a drenagem unidimensional do solo. Após a aplicação de cada carga, faz-se a leitura para tempos diferentes do valor do recalque imposto à amostra do solo, o que permite traçar, para cada carga, a desejada curva de consolidação do solo, conforme figura 12. Obtidas as curvas de consolidação, para todas as cargas traça-se, agora, a chamada curva de compressibilidade conforme figura 13. A curva de compressibilidade, nada mais é do que a representação dos valores do recalque, para a consolidação primária do solo, considerando-se todas as cargas aplicadas e as respectivas tensões desenvolvidas no solo, em escala logarítmica. Do ensaio, obtém-se o gráfico tensão x índice de vazios, determinando-se:

a) O índice de compressão c_c , que representa a inclinação da curva MN na figura 13, através da equação:

$$C_c = - \frac{\Delta e}{\Delta \sigma'}$$

Sendo a diferença do índice de vazios Δe , a tensão efetiva aplicada ao solo $\Delta \sigma'$, e o índice de vazios inicial.

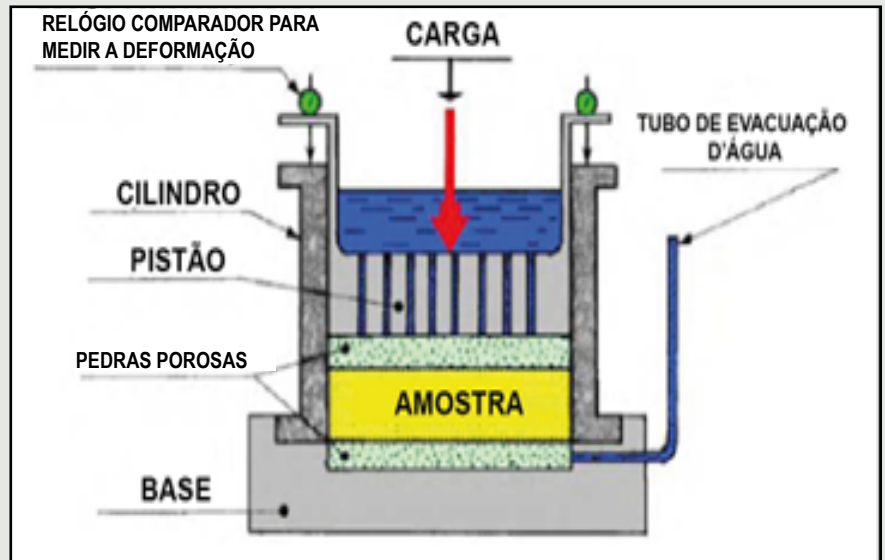


Fig. 11 - Equipamento de ensaio de compressão edométrico

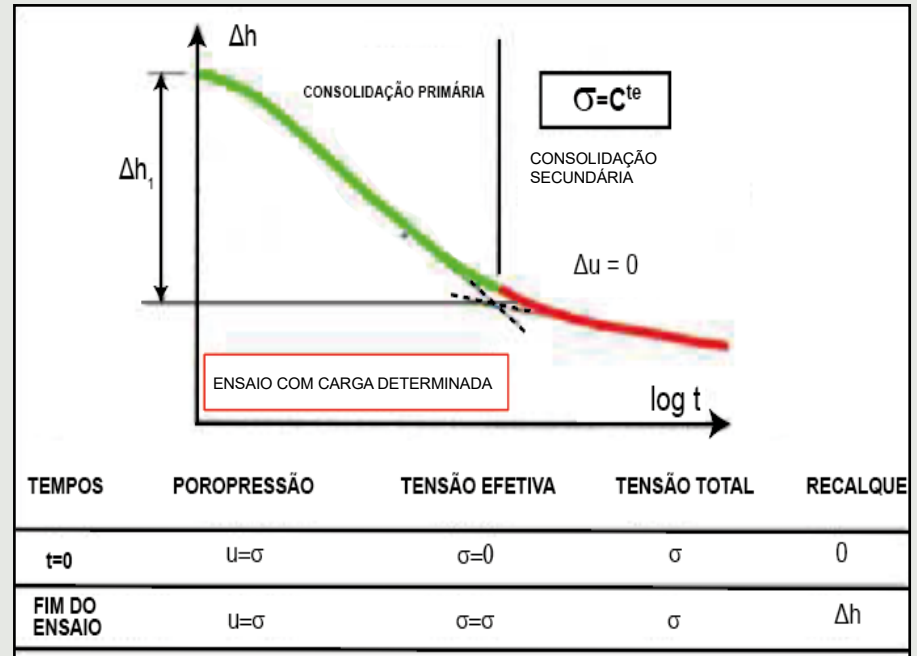


Fig. 12 - Curva da consolidação $\Delta h = f(t)$

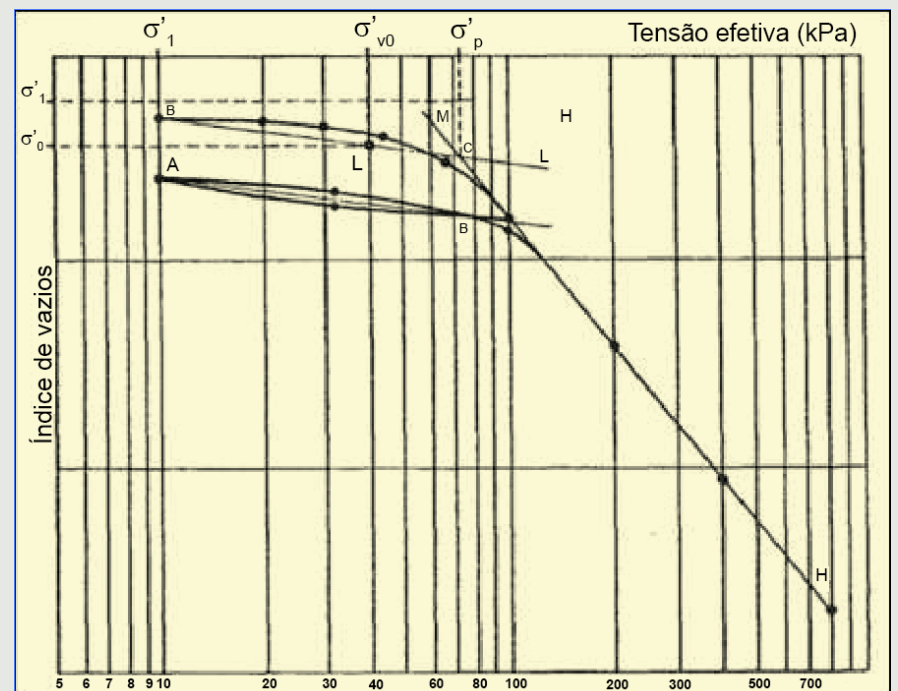


Fig. 13 - Curva de compressibilidade $e = f(\sigma')$

b) O índice de expansão C_e , representa a inclinação da curva BL, através da equação:

$$C_e = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma'}$$

c) Pressão de preconsolidação

As linhas MN e PL, cruzam-se no ponto C, onde a tensão σ' correspondente é denominada pressão de preconsolidação σ'_p .

Se $\sigma'_p > \sigma'_{vo}$ o solo é sobreconsolidado

Se $\sigma'_p = \sigma'_{vo}$ o solo é normalmente consolidado

Se $\sigma'_p < \sigma'_{vo}$ o solo é subconsolidado
Onde σ'_{vo} é a tensão efetiva aplicada pelo edômetro

d) Módulo edométrico, E_{edo} , relaciona tensões com as deformações obtidas no ensaio.

$$\Delta \sigma' = - E_{edo} \frac{\Delta H}{H}$$

$$\text{Que obtém: } E_{edo} = \frac{\Delta \sigma'}{\frac{\Delta H}{H_i}} = \frac{\Delta \sigma' (1+e_0)}{\Delta e}$$

Onde:

ΔH é o recalque

H_i espessura inicial da amostra do solo

e_0 índice de vazios inicial

Observações:

- Ao contrário do módulo de Young, o módulo edométrico não é constante;

- Depende tanto do estado de tensões inicial considerado, quanto do intervalo de tensões aplicado;

A partir da curva de compressibilidade, os parâmetros mencionados são considerados da seguinte maneira:

- Obtemos do gráfico o valor de e_0 ;

- Emprega-se um intervalo de tensão aplicado, projetando na curva de carregamento e obtemos os valores e_{\min} e e_{\max} ;

- Substituímos os valores na fórmula do módulo edométrico. Para se chegar mais próximo do valor exato do E_{edo} , é interessante escolher vários intervalos de σ' e calcular a média dos E_{edo} encontrados.

$$S_{edo} = Hi \frac{ce}{1+e_0} \log \frac{\sigma'_{vo} + \Delta \sigma z}{\sigma'_p}$$

Onde:

S_{edo} é o recalque

$\Delta \sigma z$ variação da tensão no meio da camada do solo

No domínio sobreconsolidado (se $\sigma'_{vo} < \sigma'_p$) o cálculo é:

$$S_{edo} = Hi \frac{ce}{1+e_0} \log \frac{\sigma'_{vo} + \Delta \sigma z}{\sigma'_p}$$

O problema do recalque em fundações de tanques industriais é uma ocorrência extremamente importante, quanto séria, devido a sua influencia no estudo de construções importantes ou complexas, já que há um elevado numero de fatores a serem considerados. O conhecimento atual da mecânica dos solos permite prever, com aproximação razoável, a amplitude do recalque, permitindo uma análise fácil da decisão da disposição do solo, seja apenas preparando o subleito compactando adequadamente, ou com melhoramento do solo com geoenrijecimento, evitando transtornos graves na construção a ser realizada. Tanques industriais de armazenamento são estruturas sensíveis a recalques, que necessitam de estudo geotécnico específico, principalmente quando há camadas de solos moles. A presença de recalques diferenciais, em sua fundação, é uma ameaça a sua



integridade, e sua correção é possível, o que exige estratégia específica, incluindo o renivelamento da fundação. Os dados do monitoramento do recalque são fundamentais. Métodos de avaliação do recalque são fornecidos na API653, podendo-se complementar com a API579-1/ASMEFFS-1, fornecendo informação precisa para a avaliação de um tanque de armazenamento com processo de recalque.



Fig. 14 - O recalque de borda situa-se junto ao costado abrangendo as chapas de fundo, o que é difícil de identificar pelo lado de fora do tanque. Por dentro torna-se mais fácil.

Perfilômetro de Recalques

O **Perfilômetro de Recalques** permite medir recalque e estabelecer um perfil contínuo ao longo de um tubo instalado horizontalmente. Para tanto é instalado um tubo PEAD (Polietileno de Alta Densidade) no aterro por meio de escavação rasa no sentido transversal.

O princípio de funcionamento do sensor baseia-se na pressão de um líquido contido num reservatório sobre uma membrana, a qual está solidária a um fio de aço tensionado. A variação da tensão no fio é proporcional à variação da frequência de vibração do fio. A calibração efetuada em laboratório fornece a relação entre a altura de coluna d'água e a frequência de vibração. As leituras estão isentas de variações barométricas, uma vez que o sensor é ventilado.



Para maiores informações, acesse: www.rogertec.com.br
ou atendimento@rogertec.com.br



REFERÊNCIAS

Patricia Karina Tinoco é engenheira geotécnica. Trabalha com melhoria de solos moles.

Tarasenko, A.A., Konovalov, P.A., Zekhniev, F.F., Chepur, P.V., Tarasenko, D.A.: Effects of nonuniform settlement of the outer bottom perimeter of a large tank on its stress-strain state. *Soil Mech. Found. Eng.* 53(6), 405–411 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11204-017-9420-1>

Tarasenko, A., Chepur, P., Gruchenkova, A.: Determining deformations of the central part of a vertical steel tank in the presence of the subsoil base inhomogeneity zones.

Slepnev, I.V.: Stress-Strain Elastic-Plastic State of steel Vertical Cylindrical Tanks with Inhomogeneous Base Settlement. Moscow Engineering and Building Institute, Moscow (1988)

Gorelov, A.S.: Heterogeneous Soil Bases and Their Influence on Work Vertical Steel Tanks. Nedra, Saint Petersburg (2009)

Korobkov, G.E., Zaripov, R.M., Shammazov, I.A.: Numerical Modeling Stress-Strain State and Stability of Pipelines and Tanks in Difficult Operating Conditions. Nedra, Saint Petersburg (2009)

Gorban, N.N., Vasiliev, G.G., Leonovich, I.A., Salnikov, A.P.: Study of the functioning models of tank farms of marine terminals in the Russian Federation. *Oil Ind.* 1, 77–80 (2020). <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2020-1-77-80>

Tarasenko, A.A., Chepur, P.V.: Aspects of the joint operation of a ring foundation and a soil bed with zones of inhomogeneity present. *Soil Mech. Found. Eng.* 53(4), 238–243 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11204-016-9392-6>



Fig. 1 - Melhoria do solo para construção de tanques de armazenamento.

O MELHORAMENTO DO SOLO PARA TANQUES DE ARMAZENAMENTO



Thomas Kim

Se a investigação na estrutura do tanque de armazenamento, apresenta indícios de recalque, torna-se necessário monitorar este processo, através de um controle de recalque, de modo a conhecer sua intensidade e velocidade, entendendo estes indicadores e, dependendo da gravidade, dever-se-á partir para trabalhos de melhoramento do solo de fundação, de modo a readequá-lo a condição da estrutura do tanque. A presença de camadas de solo mole na sondagem, exige estudo bem mais aprofundado do que um solo comum. Uma sequencia natural seria de acordo com o fluxograma ao lado.

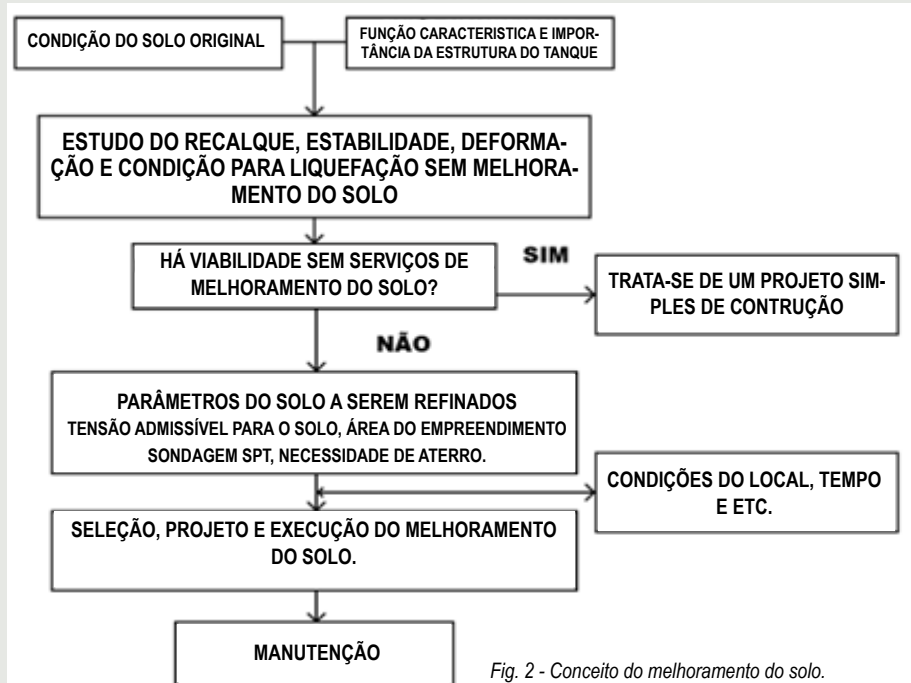


Fig. 2 - Conceito do melhoramento do solo.

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

Quando se deseja melhorar um solo, pertinente a uma estrutura sintomática, torna-se necessário investigar, também, a interação solo-estrutura, não esquecendo que o aterro executado sobre o solo de fundação e que serve de subleito à estrutura, pode ter sido executado com material e/ ou com processo questionável. Mas a intenção desta matéria é o solo de fundação, particularmente no complexo melhoramento das camadas de solo mole. Quando uma estrutura é construída sobre camadas de solo mole, além do natural recalque vertical, causado pelo processo de consolidação da argila mole, poderá ocorrer também deformação lateral, devido ao mesmo regime cisalhante imposto ao solo. A presença de aterros, adjacentes a área sintomática, costumam “puxar” o aterro, com processo de recalque, tornando-se necessário tomar medidas anti-deformação, interceptando/ reduzindo as tensões existentes. Esta interceptação/ redução das tensões é neutralizada com o melhoramento do solo, utilizando o geoenrijecimento, ao promover a formação de um parede rija, paralela à área problemática.

O melhoramento do solo de fundação

O melhoramento efetivo do solo, com geoenrijecimento, consiste em modificá-lo, alterando suas características, através de ação física compressiva radial, com a formação de bulbos que impõe processo de expansão de cavidades, adaptando-o às características do projeto, aumentando drasticamente sua resistência e rigidez, o que determina:

- Aumento de sua capacidade portante;
- Elimina a ação do recalque diferencial na medida em que homogeniza o solo;
- Elimina o risco de liquefação;

Atribuir uma técnica específica de melhoramento do solo, a uma categoria específica é imperfeito, já que algumas técnicas possuem múltiplas características comportamentais ou proporcionam melhoramento através de diversificados princípios. Exatamente, há algumas técnicas com características de mais de uma categoria. No entanto, tal sistema de classificação torna-se útil para compreender como técnicas específicas funcionam em um nível fundamental. Basicamente há solos arenosos fofos, onde se exige um processo de compactação, ou seja, sua densificação com teor de umidade constante, enquanto que para solos argilosos, moles, exige-se a consolidação que, ao contrário, é diferente da compactação devido a necessária diminuição do teor de umidade no solo saturado, simultaneamente com a aplicação da carga. Esta diminuição da umidade é dependente do tempo, já que a água precisa sair da argila que, por sua vez, tem baixa condutividade hidráulica ou permeabilidade. Assim, durante a consolidação, o solo argiloso perde água e ganha resistência reduzindo sua compressibilidade, ou seja, sua capacidade de deformar (recalcar). A técnica do geoenrijecimento é formada por duas modalidades de Grouting, uma desenvolvida especialmente para solos argilosos moles, o CPR Grouting e, para areias fofas, o Compaction Grouting. Mas pergunta-se, o que é Grouting? Trata-se de uma modalidade geotécnica de intervenção no solo que, efetivamente, modi-

fica suas propriedades, fazendo com que o próprio solo passe a suportar as cargas previstas ou existentes, com parâmetros geotécnicos previamente impostos, sem qualquer efeito coluna. O CPR Grouting, por exemplo, para solos argilosos moles, utiliza integralmente a teoria da consolidação do solo argiloso, basicamente criando um meio artificial drenante, seguido de intenso processo de compressão radial, através da formação de bulbos com argamassa seca bombeada, via expansão de cavidades. O resultado é um solo completamente modificado, com parâmetros de resistência e rigidez pré-estabelecidos em toda a profundidade do depósito de solo mole. O geoenrijecimento, com Compaction Grouting, por sua vez, é específico para solos arenosos, promovendo intenso processo de compressão radial, através da formação de bulbos, com argamassa seca bombeada, via expansão de cavidades. Ambas as técnicas são monitoradas durante sua realização, com análises piezométricas, pressiométricas e com tomografia de ondas por imagem. Existem algumas técnicas tradicionais, como o precarregamento, com ou sem cravação de geodrenos, e a consolidação a vácuo, para acelerar a consolidação de solos argilosos moles. Ocorre que solos argilosos possuem baixíssima condutividade hidráulica e, por outro lado, há a taxa de consolidação que depende da permeabilidade, profundidade e tipo de argila, razão pela qual o tempo para consolidar solos argilosos, comumente, excede o tempo disponível no cronograma da construção. O CPR Grouting foi desenvolvido exatamente para atuar no solo argiloso, de maneira intensa, consolidando-o de maneira rígida, eficiente e rápida. Não se pode “projetar” um melhoramento de solo, sem a compreensão completa do meio e métodos pertinente a estrutura em questão, no caso tanques industriais. Na realidade, o crédito pelo desenvolvimento das téc-

nicas de melhoramento de solo, seja para construção ou recuperação de tanques industriais, cabe a empresa de melhoramento efetivo de solos. Os especialistas em melhoramento do solo, normalmente, trabalham nestas empresas.

Características do geoenrijecimento com CPR Grouting.

No processo de geoenrijecimento, produz-se pressões que induzem a consolidação, à medida em que comprime-se o solo radialmente, via expansão de cavidades, com argamassa seca, fazendo com que o excesso de poropressão, intencionalmente criado seja, agora, dissipado na rede de geodrenos pré-fixada. Este forte processo deformativo imposto no solo, é pré-estabelecido metro a metro, ao longo de verticais, em seu contexto volumétrico, promovendo alterações irreversíveis em sua massa, à medida em que modificam-se porções relativas de seu volume. Para tal, estabelece-se dois critérios - o de volume e o de pressão - para a formação dos bulbos de compressão radial do solo, considerando-se a diversidade de camadas mais ou menos resistentes. Assim, por exemplo, se o programa de cálculo estabelece o critério de volume de 900 litros e o critério de pressão de 7kg/cm² para cada bulbo, significa dizer que, no campo, se o solo está aceitando 900 litros por bulbo, metro a metro, apresenta bastante compressibilidade. Se, por exemplo, surgir uma camada mais resistente o que acontecerá é que não será possível expandir os 900 litros, mais sim, digamos 500 litros. Automaticamente adotar-se-á o critério de pressão até obter-se os 7kg/cm² naquele bulbo de 500 litros e assim sucessivamente. Os dois critérios deverão ser atendidos. O objetivo conceitual do geoenrijecimento é a homogeneização completa do volume

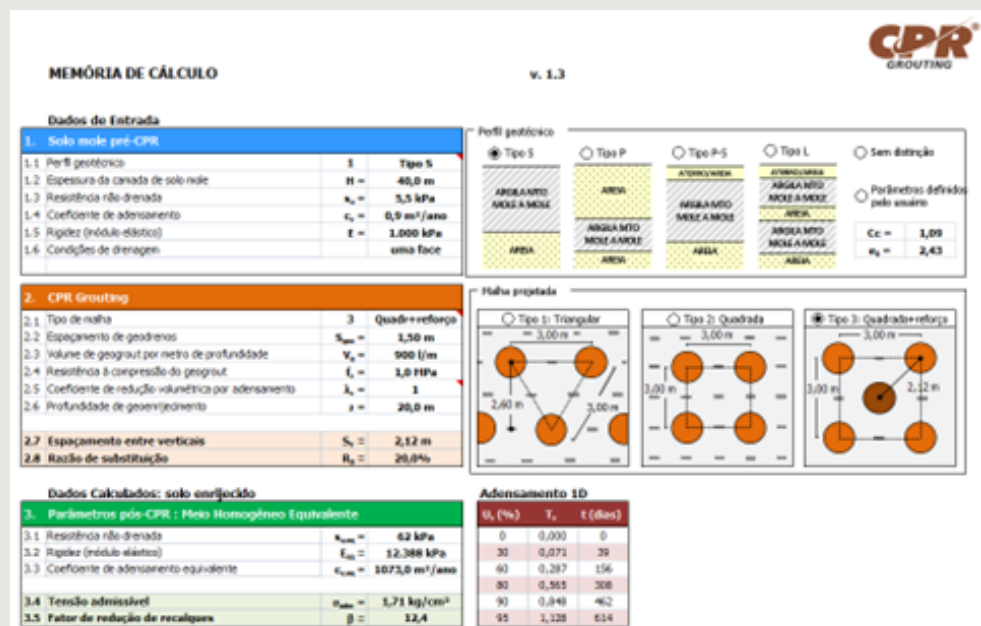


Fig. 3 - Planilha de cálculo do CPR Grouting esta disponível em <https://abrir.link/HAOTr>

de solo mole, estabelecendo novos parâmetros geotécnicos. A análise de projeto, no geoenrijecimento do solo mole, assume que cargas verticais cisalhantes sejam integralmente suportadas pela massa de solo homogeneizado, através das seguintes proposições:

- Desenvolvem-se verticais, metro a metro com bulbos que comprimem radialmente o solo mole, em meio drenante artificial previamente imposto, estabelecendo o conceito de célula unitária;
- Estabelece-se uma razão de substituição, função do volume necessário dos bulbos que comprimem radialmente o solo, via expansão de cavidades;
- A célula unitária é deformada;
- Ocorre o natural aumento da resistência e rigidez do solo;
- Induz tensões positivas;
- Estabelece a resistência equivalente e, finalmente, o conceito de solo homogeneizado.

Elaborada pela Equipe de Projetos da Engengraut Geotecnia e Engenharia, a planilha de cálculo, para dimensionamento do geoenrijecimento de

solos moles, com CPR Grouting, está disponível para download no link: <https://abrir.link/HAOTr>. O programa foi especialmente desenvolvido para calcular o geoenrijecimento de depósitos de solos moles com CPR Grouting, utilizando-se o Método de Meio Homogêneo Equivalente. O usuário utilizará, como dados de entrada, os parâmetros do solo mole a ser enrijecido. De forma automática, o programa apresentará os resultados obtidos, que poderão ser visualizados em impressos para facilitar a elaboração da memória de cálculo.

Características do geoenrijecimento com Compaction Grouting.

Literalmente traduzido é o grauteamento de compactação ou adensamento de solos arenosos, na medida em que formam-se bulbos de argamassa seca, impondo compressão radial no solo ao redor, via expansão de cavidades. Sua eficiência é altíssima, podendo-se utilizar em áreas confinadas, melhorando significativamente o solo. Para tanques com problema de recalque



SENSORES DE RECALQUE



**CÉLULAS DE PRESSÃO
PARA ATERROS**

GEOKON

TRUSTED MEASUREMENTS®

EQUIPAMENTOS GEOTÉCNICOS



**CÉLULAS DE PRESSÃO
CRAVÁVEIS NO TERRENO**



PIEZÔMETROS

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

Representante Exclusivo no Brasil



G5 Engenharia LTDA

Tel: (41) 3402-1707

g5engenharia.com.br

diferencial, promove-se a interrupção do recalque, possibilitando a correção do seu prumo. Não produz resíduos. Este tipo de geoenrijecimento, deverá ser idealizado com base nas condições in situ, nas propriedades geotécnicas dos materiais a serem utilizados como insumos (areia e saibro), na interferência com a rotina da obra e com a condição do solo. A figura ao lado apresenta os inputs e outputs típicos que são considerados na idealização de um projeto. As diretrizes, assim estabelecidas, são verificadas com testes preliminares, ajustando-se os parâmetros executivos conforme necessário. Dependentemente do tipo de obra, necessita-se customizar e personalizar o geograut, de modo a atender as necessidades do solo. Assim, para a obra de estabilização de um solo problemático, o primeiro passo é selecionar o tipo de geograut, de acordo com os materiais (insumos) da região, com base na compreensão do objetivo desta obra e, claro, das características geológicas do solo. A necessária compactação do solo arenoso, e sua estruturação, permitirá alcançar o objetivo da estabilização necessária para, a seguir, receber obras de construção ou readequação de tanques. O saibro, a areia e o cimento, os insumos necessários, acondicionados na central do geograut, serão dosados através da caçamba da pá mecânica e lançados no funil da central, de modo a alimentar os caminhões betoneira. A mistura será feita dentro dos caminhões, obtendo-se a consistência pré-estabelecida e aferida com slump test. Liberados, os caminhões irão para o campo. Variações que po-



Fig. 4 - O solo melhorado para construção de um tanque. Resistência e rigidez elevadas, específicas para cada projeto. A homogeneização do solo é uma característica importante.

Indicadores	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de resistência à penetração NSPT • Resistência de ponta e atrito lateral do ensaio CPT • Resultado do ensaio pressiométrico (G, p_o, p_t) • Soerguimento da superfície • Velocidade de propagação das ondas cisalhantes (V_s)
Condições da subsuperfície	<ul style="list-style-type: none"> • Profundidade e espessura da camada compressível • Resistência, rigidez e permeabilidade • Presença de grandes vazios • Nível d'água
Geograut	<ul style="list-style-type: none"> • Parâmetros de dosagem • Granulometria dos agregados existentes na região (areia e saibro) • Abatimento (slump)
Método executivo	<ul style="list-style-type: none"> • Volume e pressão do bombeamento • Instrumentação e controles previstos • Malha do melhoramento do solo • Sequência da formação das verticais realizadas para o melhoramento do solo (ascendente, descendente)

Fig. 5 - Dados para a idealização de um serviço de melhoramento de solo

derão ocorrer na areia e no saibro, no transcorrer da obra, implicarão no redimensionamento do traço do geograut. A dosagem será feita em função da distribuição granulométrica dos agregados e de sua composição, de tal forma que não cause fraturamento hidráulico durante a formação dos bulbos de compressão radial no solo. O geograut fresco deverá

apresentar trabalhabilidade adequada para seu bombeamento. A resistência à compressão exigida, será superior à do solo melhorado. A mistura do geograut, com areia, saibro e cimento, em proporção adequada, resultará em um produto com resistência e bombeabilidade, possibilitando a estabilidade do solo e satisfazendo os requisitos desejados. Levanta-se o traço mais apropria-

do, devendo-se atender uma resistência mínima de 6kg/cm^2 e abatimento máximo de 80 mm, no slump test. Os serviços serão iniciados com a execução dos furos primários, espaçados em malha quadrada. A seguir com o equipamento introduzido até a camada resistente, iniciar-se-á bombeamento do geograut, utilizando-se equipamento específico, monitorando-se o volume e a pressão na formação de cada bulbo de compressão do solo, seguindo-se os critérios de paralisação programados. Executar-se-ão furos secundários, intercalando-se entre a malha primária, em malha quadrada. Quando não forem atingidos os critérios previstos, executar-se-á os furos terciários, seguindo o mesmo princípio de intercalação, em malha quadrada, desta vez realizando-se uma malha final com 3 m de lado. A Figura 6, apresenta a geometria da malha prevista e a sequência de execução dos furos. Os parâmetros geométricos fundamentais da malha serão o diâmetro do grauteamento (d_g) e o espaçamento entre furos (s). O melhoramento do solo será realizado de baixo para cima, iniciando-se no fundo do furo, sacando o tubo em passos constantes de 1,0m. O diâmetro do grauteamento (d_g), em centímetros, é calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$d_g = 0,036\sqrt{G_T}$$

onde G_T é volume do graute bombeado, por metro de profundidade, em litros por metro. Um volume bombeado de 800 l/m corresponde a um bulbo com um diâmetro equivalente de 101 cm. A zona de influência de cada furo é delimitada por meio do diâmetro equivalente da célula unitária, D , em função da geometria da malha e do espaçamento entre furos.

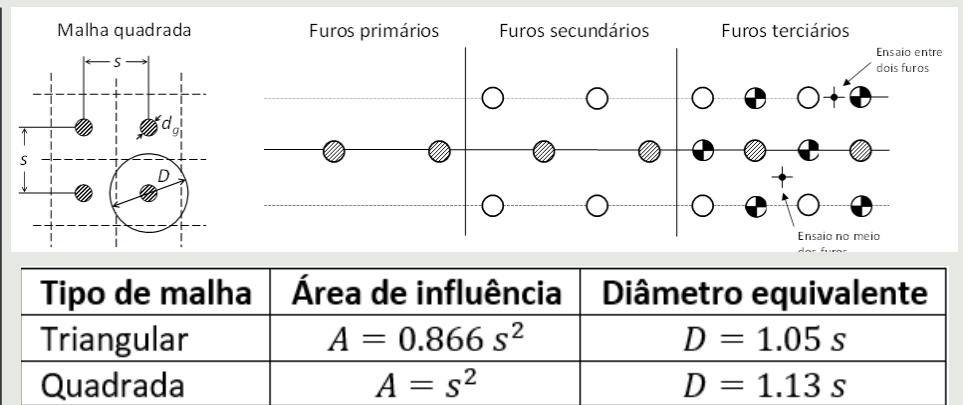


Fig. 6 - Geometria da malha e a sequência executiva dos trabalhos.

Define-se, a seguir, a razão de substituição com a seguinte expressão:

$$R_S = \frac{G_T}{A}$$

Este é o mais importante parâmetro do projeto, representando

a incidência volumétrica do melhoramento, sendo expressa em l/m^3 , m^3/m^3 ou em porcentagem. Para uma malha quadrada a ser utilizada por exemplo, de 3,0 m x 3,0 m e um volume para cada bulbo de 800 l/m, obtém-se $R_S = 89 \text{ l/m}^3 = 8,9\%$.

REFERÊNCIAS

- Thomas Kim é engenheiro geotécnico especializado em melhoramento de solos moles.
- Geary, W. & Hobbs, J. 2013. Catastrophic failure of a carbon steel storage tank due to internal corrosion. Case Studies in Engineering Failure Analysis 1: 257–264.
- Grget G., Ravnjak K., Szavits-Nossan A. 2018. Analysis of results of molasses tanks settlement testing Soils and Foundations 58, 1260–1271
- Gunerathne S., Seo H., Lawson W.D., Jayawickrama P.W. 2018. Analysis of edge-to-center settlement ratio for circular storage tank foundation on elastic soil Computers and Geotechnics 102,136–147
- Ignatowicz R., Hotala E. 2020. Failure of cylindrical steel storage tank due to foundation settlements. Engineering Failure Analysis 115
- Magnucki, K. & Lewiński, J. & Stasiewicz, P. 2004. Optimal sizes of a ground-based horizontal cylindrical tank under strength and stability constraints. International Journal of Pressure Vessels and Piping 81: 913–917.

SSBi 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



PARCEIROS



Bentley
Institute
Proven Training Partner



GEOKON

SOLUÇÕES CAD BIM



Leica
Geosystems



TROGERTEC

ENGEGRAUT

ROCTEST



SOFT SOIL
BRAZILIAN
INSTITUTE

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