

ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

Nº 280 ABRIL 1971, SÉRIE : OBRAS DE ESTRUTURA, Nº 8

CRÓNICAS DO BUREAU SECURITAS E DA SOCOTEC

PATOLOGIAS DAS FUNDAÇÕES

FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS

FUNDAÇÕES PROFUNDAS

por

Louis **LOGEIS**

Engenheiro de Artes e Manufacturas
Secretário Geral do Bureau Securitas
Relator da Comissão «Fundações»

INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLIQUES

tradução de António de Borja Araújo
Engenheiro Civil, IST

RESUMO

Numerosos sinistros em edifícios têm por origem uma deficiência de fundações. O Autor redigiu este artigo depois de ter compilado os relatórios que foram estabelecidos, no decurso de vistorias, pelo Serviço de Patologia do BUREAU SECURITAS e da SOCOTEC.

A primeira parte é consagrada às fundações superficiais. Depois de ter classificado os sinistros em famílias e indicado as percentagens de desordens imputáveis a cada família, o Autor passa em revista cada categoria de sinistros (fundações sobre aterros insuficientemente assentes, modificações das características do terreno por infiltrações de água, fundações heterogêneas, etc.) ilustrando cada caso com exemplos reais, e tentando deles retirar ensinamentos.

A segunda parte trata do problema das fundações profundas. Redigida no mesmo espírito e abundantemente ilustrada, aborda sucessivamente os sinistros imputáveis a uma ausência de reconhecimento prévio ou a um desconhecimento das leis da Mecânica dos Solos (atrito negativo, impulsos laterais), e ainda as desordens devidas a defeitos de construção.

A conclusão chama a atenção sobre a necessidade, para os responsáveis por obras, de assegurarem, na fase do projecto prévio, a colaboração de técnicos competentes.

Palavras chave : Desordem. Fundação superficial. Fundação profunda. Patologia. Estudo. Execução.

As teses e o método de exposição adoptados pelos autores podem, por vezes, ferir certos pontos de vista habitualmente admitidos. Mas deve ser compreendido que essas teses, a propósito das quais o Institut Technique não saberia tomar partido, não visam em nada as pessoas ou os princípios das Instituições.

A presente crónica foi redigida depois do exame de cerca de 1200 relatórios de sinistros recenseados durante vistorias técnicas pelo Serviço de Patologia do Bureau Securitas e da Socotec. Pensamos portanto termos uma ideia bem completa de todas as desordens imputáveis às fundações.

Percorrendo este estudo, o leitor terá talvez a impressão que todos os sinistros resultam de culpas inadmissíveis que ele mesmo nunca teria cometido. Todavia, que fique prevenido : existem desordens nas quais não se pensa nunca na altura de concepção dos projectos; mesmo se essas desordens são consequência lógica de disposições defeituosas, as relações de causa – efeito não são imediatas, ou parecem pouco prováveis à primeira vista, e é sempre fácil, recuando no tempo, criticar disposições que não pareceriam curiais se tivéssemos estado no lugar do Projectista, na época em que o edifício apenas existia sob a forma de planos.

FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS

1. AS PRINCIPAIS CAUSAS DE SINISTROS

Ainda que, em geral, uma desordem imputável às fundações não tenha uma só causa única, tentamos classificar os sinistros em fundações num certo número de famílias.

Três causas predominam : elas representam, só por si, perto de dois terços de todas as desordens registadas, e ficam aqui enumeradas.

- Cerca de um sinistro em cada quatro é causado por **aterros insuficientemente assentes**, quer se trate de aterros recentes ou mal compactados, quer o assentamento tenha sido acelerado por uma presença sazonal ou acidental de água.
- **As presenças de água** não apresentam consequências catastróficas somente para os aterros : muitos terrenos, e em particular os terrenos argilosos, vêem as suas características profundamente modificadas pela água, que provoca ainda um sinistro em cada cinco.
- Um por cinco, é igualmente a proporção das desordens imputáveis às **fundações heterogéneas**, quer o terreno não apresente as mesmas características em todo o volume afectado, quer as fundações tenham sido realizadas a níveis diferentes, sem precauções especiais, quer tenham sido utilizados diversos tipos de fundação, sob uma mesma obra, ainda então sem precauções especiais (não é de excluir, com efeito, poder-se recorrer a diversos tipos de fundação diferentes para suportar diversas partes de um mesmo edifício).

Ao lado destas três causas predominantes, outras encontram-se frequentemente. Citaremos estas quatro :

- **A edificação de um novo edifício** provoca, frequentemente, perturbações nas construções adjacentes e mais que um sinistro em cada dez pode ser atribuído ao **assentamento** provocado pela nova obra.
- **Se o terreno de fundação é muito compressível**, numerosas desordens (10% do total) são devidas ao facto de que a construção é incapaz de poder, quer seja resistir, quer seja adaptar-se, sem danos, aos assentamentos diferenciais que daí resultam.
- Num caso em cada dez, as fundações foram levadas a uma **profundidade insuficiente**, o que as torna sensíveis à acção do gelo ou ao desenterramento pelas águas (sem contar com os exemplos, menos raros que se possa pensar, em que estas fundações pararam sobre a terra vegetal).
- Enfim, um sinistro em cada doze, é devido ao facto de se ter construído sobre **solo instável**, quer se trate de galerias de minas ou de pedreiras não consolidadas, quer seja a inclinação do terreno a provocar um escorregamento do conjunto.

Vamos agora estudar sucessivamente as diversas causas dos sinistros.

2. FUNDAÇÕES SOBRE ATERRO

Todas as pessoas sabem que os aterros assentam. E no entanto, muitas edificações são anualmente edificadas sobre aterros sem que haja a preocupação de se tomar as precauções elementares.

Certos aterros são particularmente perigosos :

- Os aterros recentes
- Os aterros de espessura variável
- Os aterros sobre terrenos compressíveis ou instáveis.

ATERROS RECENTES

Mesmo se foram compactados por camadas regulares, na altura da sua execução, os aterros não adquiriram o seu assentamento definitivo e, naturalmente, assentam. Podem ser citados numerosos exemplos de desordens provocadas pela construção de obras sobre aterro; mencionaremos apenas alguns entre os mais característicos.

Este imóvel (fig. 1), construído em 1955, incluía dois corpos juntos : uma construção com doze níveis e uma construção com dois níveis. Durante os trabalhos de construção, manifestou-se um assentamento da construção mais baixa; a vistoria revelou que este tinha sido fundado em parte sobre aterro.



Fig. 1 – A construção baixa estava parcialmente edificada sobre aterro

A figura 2 mostra-nos uma importante fissura que apareceu na fachada de um pavilhão. Aí, também, todas as condições mais desfavoráveis estavam reunidas : o terreno de fundação do pavilhão era constituído por aterros recentes e de qualidade medíocre, pois tratava-se de materiais que tinham servido para preencher uma antiga saibreira. A espessura deste aterro atingia 10 m nalguns pontos. É certo que a obra a construir só comportava um nível, e, à falta de outro terreno, não era talvez inconcebível fundar um pavilhão sobre um solo tão compressível e heterogéneo, mas na condição de se prever um sistema de fundações muito rígido, e uma superestrutura fortemente cintada. Ora a obra em questão foi fundada sobre simples caboucos em betão ciclópico não armado. As cintagens eram, por assim dizer, inexistentes. Este sistema não apresentava, portanto, nenhuma rigidez relativamente aos assentamentos diferenciais; o seguimento veio confirmá-lo. Foi necessário, antes de preencher as fissuras, consolidar a construção, executando trabalhos em galeria cujo preço foi considerável em relação ao que teriam custado, à partida, fundações bem concebidas.

Fig. 2 – Fissura, atingindo 6 cm, nas paredes de um pavilhão fundado sobre aterro

Um terceiro exemplo mostra o risco que se corre ao edificar-se, com vários anos de intervalo, dois edifícios lado-a-lado, sobre um aterro insuficientemente consolidado : há uma dezena de anos, numa cidade do Sueste, iniciou-se a construção de um imóvel sobre um aterro de 3 a 4 m de espessura, com cerca de dez anos de execução. Dois anos mais tarde, encarou-se a edificação de um pavilhão no terreno vizinho e, depois de acordo entre os dois proprietários, decidiu-se que a empena do antigo imóvel passaria a ser comum e serviria de apoio aos pavimentos da construção nova. Para se ter em conta o acréscimo de cargas, a sapata dessa empena foi alargada por recalçamento, executado por troços. Pouco tempo depois da construção do pavilhão, apareceram fissuras no edifício antigo, na junção entre a empena comum e as paredes perpendiculares (fig.3).



Neste caso, sob a acção das cargas transmitidas pelas fundações do edifício antigo, o aterro tinha realizado grande parte do seu assentamento. As novas cargas devidas ao pavilhão provocaram, apesar do cuidado em se executar o recalçamento, um assentamento suplementar sob as fundações da empena comum, onde a fissuração foi constatada.

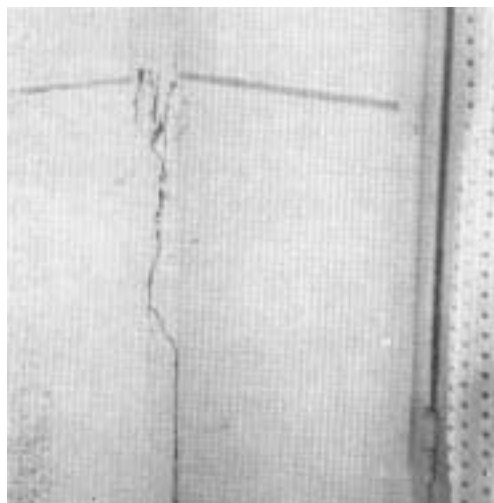


Fig. 3 – Fundações sobre aterro : apareceram fissuras após a construção de um pavilhão vizinho

Estes dois exemplos mostram bem, caso fosse necessário, que a amplitude dos assentamentos não tem nenhuma relação com o que se chama de taxa de trabalho do solo.

ATERROS DE ESPESSURA VARIÁVEL

Todos os aterros, já dissemos, assenta, e todas as pessoas aceitam que quanto maior é a espessura do aterro, mais importante será o assentamento. Se tivermos que construir sobre aterros de espessura variável, devemos considerar que os assentamentos diferenciais não são negligenciáveis. Teremos que estudar não somente a rigidez da obra a construir, mas ainda a estabilidade do conjunto, se não quisermos encontrar-nos em face de uma desventura análoga à que sucedeu na Torre de Pisa (fig. 4).



Fig. 4 – Exemplo de fundação sobre terreno compressível : a Torre de Pisa

Fig. 5 – Inclinação adquirida por um prédio fundado sobre aterros (fossos das muralhas de uma cidade)

Foram situações destas, ilustradas pela fig. 5, que sucederam há uma dúzia de anos numa cidade do centro de França. O edifício em questão tinha quatro níveis e a sua altura total era próxima dos 14 m. O terreno de fundação era constituído por um aterro argiloso de espessura importante, bastante antigo, pois tratava-se do entulhamento dos fossos das antigas muralhas da cidade. Infelizmente, as sondagens, que apesar de tudo tinham sido efectuadas na fase de estudos, não permitiram decifrar que se estava nas bordaduras dos fossos, quer dizer numa zona onde a espessura dos aterros varia rapidamente.

Sabendo que estavam a construir sobre aterro, os construtores tomaram – ou pelo menos acreditaram ter tomado – todas as precauções necessárias : a soleira prevista exercia sobre o solo uma tensão «razoável», as paredes da cave foram bem rigidificadas, e a estrutura foi bem cintada. O edifício não fissurou... mas começou rapidamente a desviar-se da vertical. Este desvio era já de 24 cm (em 14 m) no fim dos trabalhos. A inclinação continuou a acentuar-se, se bem que as autoridades municipais tenham feito um embargo por risco. Os proprietários foram condenados a demolir o seu prédio, cuja inclinação atingia já 79 cm no último dia da sua existência. Deve-se, para já, notar que mesmo no fim da sua vida o prédio não estava desorganizado : tinha-se inclinado em conjunto. Graças ao seu monolitismo, as técnicas actuais teriam, certamente, permitido recuperá-lo...



ATERROS REALIZADOS SOBRE UM TERRENO COMPRESSÍVEL OU INSTÁVEL

É um facto que, nos nossos dias, somos levados a construir, sobretudo na vizinhança das cidades, em terrenos que estavam desprezados, até então, pela sua pouca aptidão para receber construções. É o caso particular de numerosas zonas industriais situadas em antigos terrenos alagadiços ou na planície aluvionar dos cursos de água. Para proteger o terreno contra as inundações e para o entregar uma plataforma conveniente aos utilizadores, foi-se levado a aterrar com espessuras por vezes importantes. Frequentemente, é verdade, estes aterros foram feitos com grande cuidado, muito bem compactados com meios poderosos. Não deixa de ser, apesar disso, extremamente perigoso construir-se edifícios de uma certa importância sobre esses aterros. Vamos examinar dois casos particularmente típicos.

Aterro sobre terreno compressível

Se o terreno natural é constituído por materiais muito compressíveis (turfas, vasas moles, argilas com forte teor de água, etc.), é totalmente desaconselhado sobrecarregá-los com aterros cuja influência só pode aumentar a amplitude dos assentamentos. A título indicativo, 2 m de aterro exercem uma pressão superior a 30 000 Pa, ainda que frequentemente, não se hesitasse a admitir esta carga para certos terrenos compressíveis. Iremos descrever em pormenor, no capítulo das fundações heterogéneas, um sinistro extremamente importante que afectou, há cerca de quinze anos, um pavilhão desportivo no Sudoeste.

Em resumo, se nos terrenos muito compressíveis, a fraca importância das obras a construir não justificar fundações profundas, é necessário encontrar-se um modo de fundação que sobrecarregue ao mínimo o terreno, e evitar colocar-se aterros importantes, que são já, por si só, compressíveis e que, por outro lado, trazem ao terreno um acréscimo de cargas geradoras de assentamento. Voltaremos a esta questão no capítulo das fundações sobre terreno compressível.

Aterro sobre terrenos inclinados

Os aterros sobre terrenos inclinados apresentam graves inconvenientes; citaremos os dois principais :

- Como, muitas vezes, o papel do aterro é o de permitir a realização de uma plataforma horizontal, esse aterro tem uma espessura variável e são, portanto, de temer assentamentos diferenciais se se utilizarem esses aterros como base para fundações;
- Se não for previsto nenhum dreno a montante, e sobretudo se não se tiver previamente decapado o terreno natural, as águas superficiais infiltram-se no aterro e podem, quer seja provocar o seu assentamento ou o seu escorregamento em conjunto, quer seja mesmo perturbar o terreno natural, que pode, assim, tornar-se instável.

Este caso está ilustrado pelo exemplo seguinte (fig. 6, 7, 9 e 10), que consta de um escorregamento progressivo seguido de ruína por derrubamento de um simples telheiro de escola de piso único, edificado, na sua maior parte, sobre aterro.

O terreno natural, inclinado, era constituído por margas cinzentas muito compactas, cuja camada superior estava um pouco remexida. O aterro que deveria permitir obter-se uma plataforma horizontal, tinha uma espessura variável de 0 a perto de 3 m (fig. 8).

Como o telheiro era uma obra ligeira, os construtores não consideraram necessário descer as fundações até um terreno não remexido; as sapatas dos pilares foram, portanto, fundadas sobre aterro. No ponto mais alto, pelo contrário, algumas foram ancoradas na marga.



Fig. 6 , 7, 9 e 10 – Estas ilustrações mostram a fissuração, e depois o afundamento de um telheiro de escola fundado sobre aterros de espessura variável

Após um muito prolongado período de chuva, abriram-se fendas no terreno e na laje do telheiro. A princípio limitadas a 4 ou 5 cm, estas fendas aumentaram com a chuva; o deslocamento horizontal, rapidamente, atingiu os 30 cm. E o aterro assentou 80 cm, o que provocou a ruína do telheiro.



Fig. 7

O sinistro foi logo atribuído ao assentamento e ao escorregamento do aterro, em consequência das chuvas; mas uma peritagem, acompanhada de sondagens em profundidade, mostrou que onde o escorregamento se verificou foi nas camadas superiores da marga,

plastificadas pela humidade que as chuvas mantiveram no aterro, e cuja importante carga favoreceu o escorregamento do terreno natural.

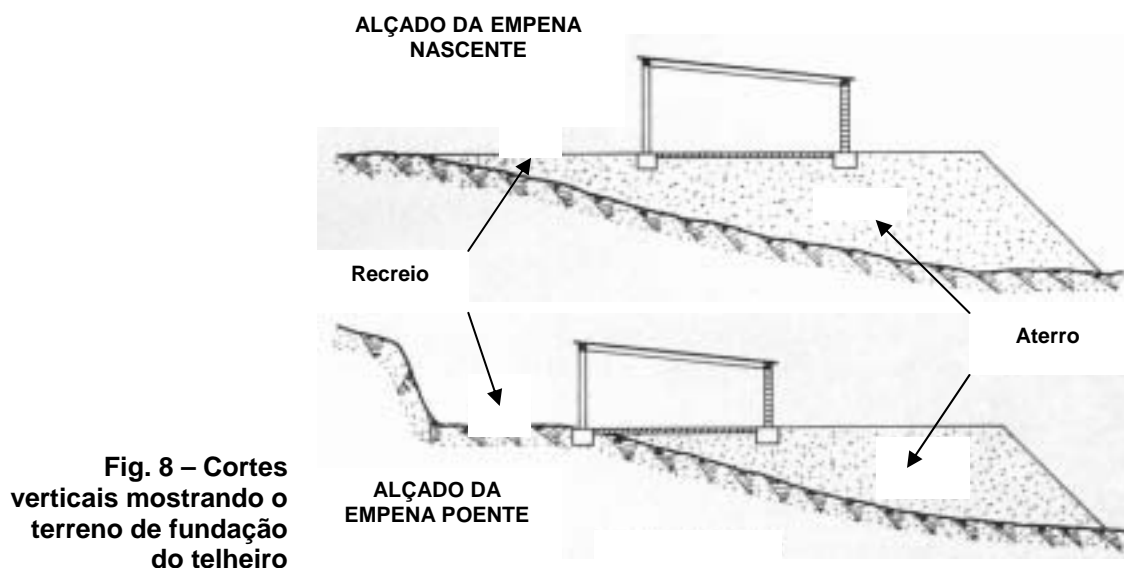


Fig. 8 – Cortes verticais mostrando o terreno de fundação do telheiro

A ancoragem das sapatas de fundação na camada de marga, a uma profundidade suficiente para se resguardarem da plastificação, teria permitido evitar-se a ruína do telheiro; a estabilidade do aterro, pelo contrário, só poderia ter sido assegurada pela dupla condição de se prever, a montante, um dreno, para evacuar as águas superficiais, e, sobre a plataforma, um revestimento suficientemente estanque, para impedir a infiltração das águas da chuva.

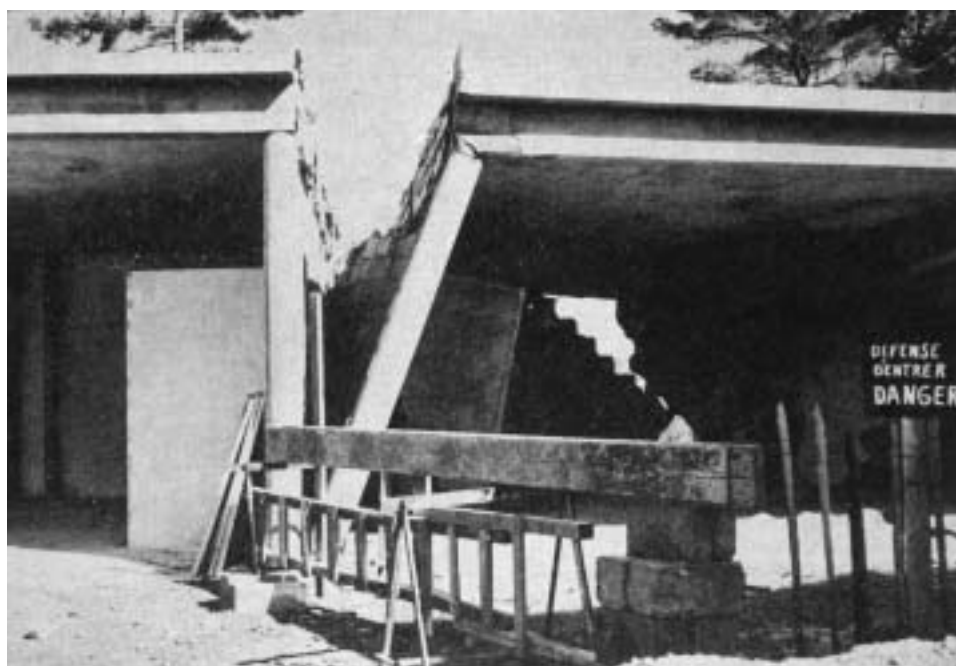


Fig. 9

CONCLUSÃO

À luz dos exemplos precedentes, podemos constatar que o facto de se executar uma edificação, por muito ligeira que seja, sobre um aterro recente arrisca sempre provocar desordens, qualquer que seja o cuidado observado na compactação desse aterro. Este, na verdade, só adquire a sua estabilidade definitiva passados alguns anos.



Fig. 10

Podemos, portanto, concluir que, se a construção sobre aterro pode ser encarada sem riscos exagerados em casos bem precisos (aterro homogéneo e de espessura sensivelmente constante, repousando sobre um terreno sólido, construção cujas dimensões horizontais são importantes relativamente à sua altura ...) – e na condição, evidentemente, que seja prevista uma obra suficientemente rigidificada – pelo contrário, devemos desconfiar de todos os outros casos, e em particular dos aterros de espessura desigual, dos aterros sobre camadas muito compressíveis, ou sobre terrenos naturais inclinados. Então, não se deve começar nada sem ser efectuado um estudo aprofundado do problema e sem estar assegurada a estabilidade do conjunto da construção, em função dos previsíveis assentamentos.

Estudaremos, no capítulo seguinte, a influência perniciosa das infiltrações de água no terreno de assentamento das fundações, mas não gostaríamos de concluir este capítulo sem assinalar que os aterros são muito frequentemente a causa indirecta destas infiltrações :

Primeiro porque – e principalmente nos terrenos inclinados – o aterro colocado em redor da edificação, para encher a escavação ao longo das suas fundações, constitui, muito frequentemente, um dreno natural sem saída, no qual se vêm acumular as águas superficiais, provocando uma alteração no terreno de fundação;

Enfim, e sobretudo, porque é, geralmente, no aterro que são colocadas as canalizações para evacuação das águas pluviais ou domésticas. O assentamento desse aterro provoca frequentemente a rotura das canalizações ou das suas juntas, a que se seguem fugas de água, tanto mais temíveis quanto é totalmente impossível adivinhá-las, sendo necessário esperar-se pela manifestação de desordens para que se possam detectar.

3. DESORDENS CONSEQUENTES DE INFILTRAÇÕES DE ÁGUA JUNTO DAS FUNDAÇÕES

Acabamos de ver que os aterros, mesmo antigos, podem sofrer assentamentos importantes e brutais se forem submetidos à acção accidental da água, e que esta causa fortuita pode provocar desordens graves nos edifícios, fundados sobre aterro, e que até então se tinham comportado bem.

Mas a presença da água é igualmente um elemento perturbador em certos terrenos naturais, e mais particularmente, no caso de solos argilosos. Estes, com efeito, amolecem em contacto com a água. Daqui resulta, em todos os casos, um acréscimo de assentamentos, portanto aparição de desordens nas construções. Além de que, nos terrenos inclinados, podem-se produzir escorregamentos, como o que atrás descrevemos.

EXEMPLOS DE DESORDENS OBSERVADAS

Vamos citar 3 exemplos.

A figura 11 mostra uma fissura inclinada, num pavilhão fundado, num terreno inclinado, por meio de sapatas contínuas assentes sobre argila. Nenhum dispositivo foi previsto para afastar as águas de escoamento superficial das fundações. Estas acumularam-se ao longo de um ângulo do pavilhão. Toda a parte correspondente das sapatas assentou, provocando a fissuração das paredes térreas.



**Fig. 11 –
assentamento do ângulo
de um pavilhão sob a
acção das águas de
infiltração**

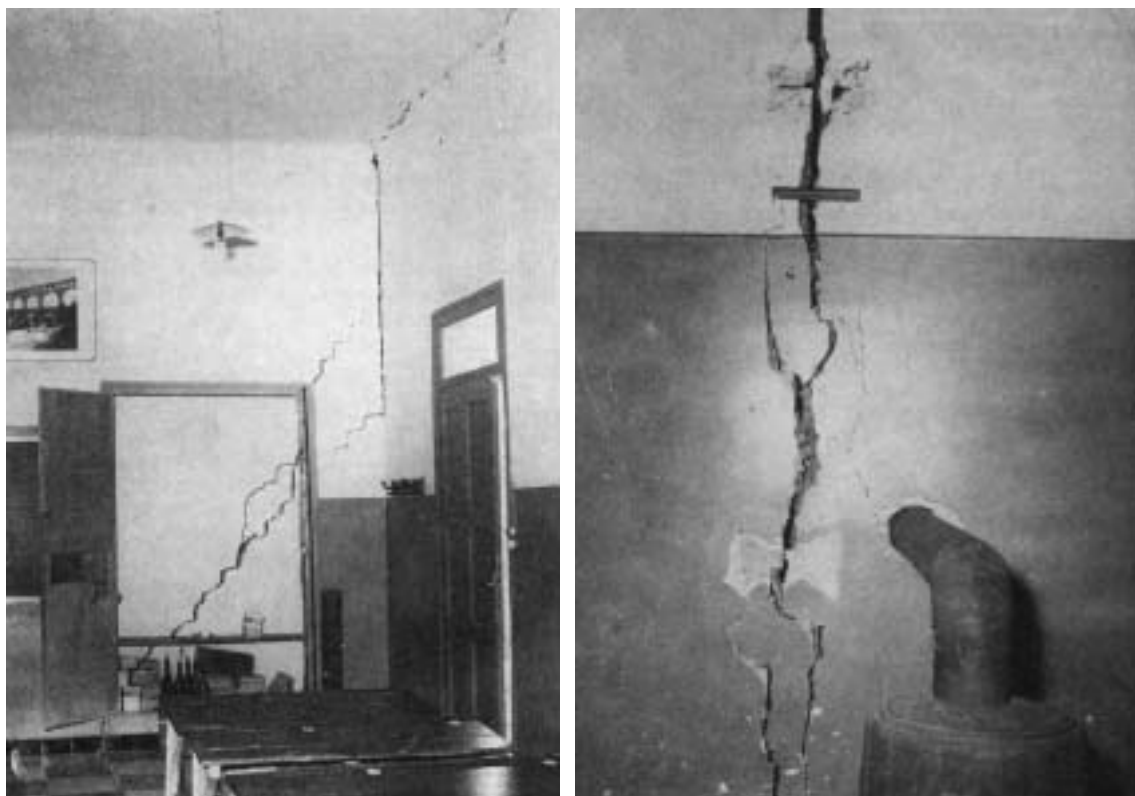


Fig. 12 e 13 – Fissuras nas paredes de um grupo escolar fundado sobre um terreno argiloso e inclinado, sem nenhum dispositivo de evacuação das águas pluviais

As figuras 12 e 13 mostram uma fracção das desordens que afectara, há pouco mais de dez anos, um grupo escolar. Não só as paredes interiores, mas igualmente as lajes, foram atravessadas por fissuras que atingiram os 4 cm. A edificação estava construída sobre um

terreno argiloso inclinado, e não foi previsto nenhum ramal de escoamento para as águas pluviais, que eram assim rejeitadas ao longo da fachada a jusante. Foram, simultaneamente, um escorregamento e um assentamento do terreno de fundação das fundações, situadas sob esta fachada, que provocaram a fissuração dos pavimentos e das paredes. A construção de cintagens transversais ligando as duas fachadas, situadas sobre as paredes interiores teriam, certamente, diminuído em grande parte a importância das desordens. Faltou prever-se um sistema de escoamento para as águas pluviais e cintar a edificação com travamentos horizontais e verticais.

Terceiro exemplo : foi certamente a um aparecimento accidental de água que se deve atribuir a ruína de um armazém de trigo no norte de França (fig. 14). Esta obra comportava um pavimento em betão armado repousando sobre uma quadrícula de pilares espaçados de 3 m, em ambos os sentidos. Estes pilares estavam fundados sobre sapatas isoladas em betão armado, que desciam até cerca de 80 cm abaixo do nível do solo, constituído por argila. É verdade que estas sapatas exerciam sobre o terreno de fundação uma carga bastante importante, mas esta razão não chega para explicar o sinistro. É mais certo que um aparecimento de água tenha deslavado o terreno sob uma sapata, a qual se afundou brutalmente. De pórtilo em pórtilo, o movimento estendeu-se às sapatas vizinhas, desorganizando o pavimento e produzindo a ruína total da obra.

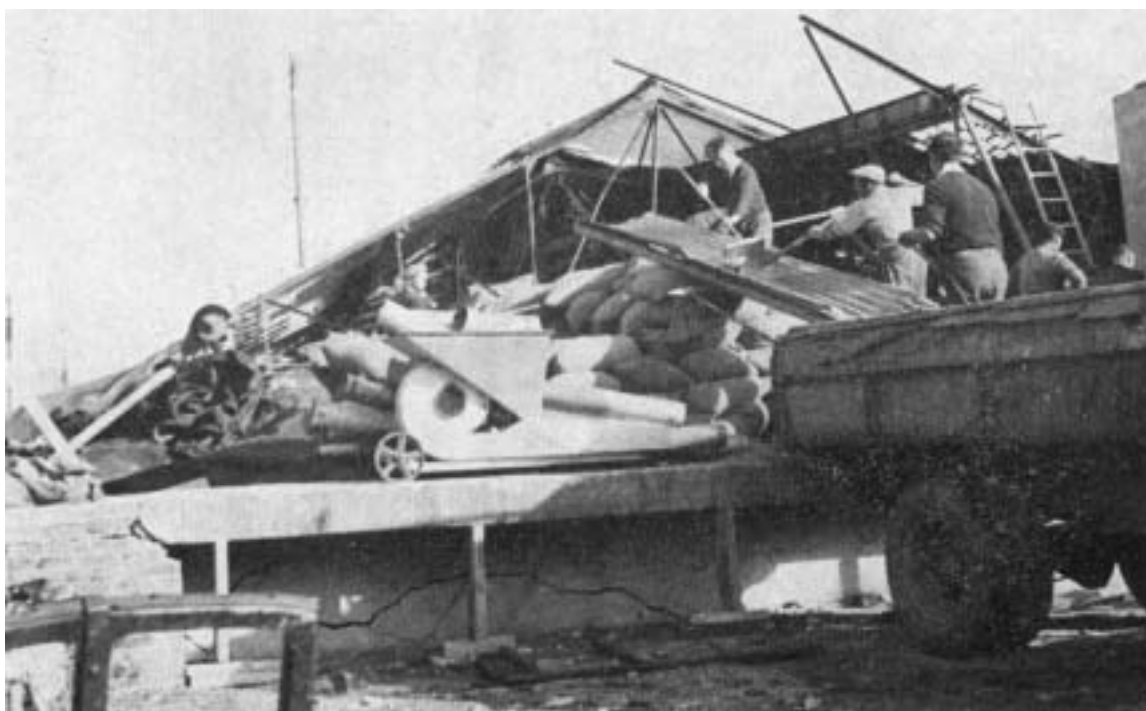


Fig. 14 – Desmoronamento de um armazém para trigo fundado sobre um terreno molhado por infiltrações de água

Conclui-se que a humidade exerce uma influência perniciosa em grande número de terrenos. **Há lugar, então, para se tomar um certo número de precauções, sempre que o terreno de fundação apresente risco de ser perturbado pelas águas.** Vamos enumerar algumas.

PRECAUÇÕES A TOMAR

Águas de infiltração ou águas de lençol freático

Nos terrenos inclinados, as águas de infiltração vêm naturalmente embater contra o obstáculo que é constituído pela edificação recentemente construída. Estas águas encontram um encaminhamento ideal nos aterros de fraca compacidade – e frequentemente de medíocre qualidade – que acabam de ser executados para preencher as escavações das fundações, escavações cuja dimensão é sempre superior às dimensões da obra. Se não se tomar isto em consideração, as fundações da edificação estarão permanentemente banhadas em água – sem contar que se podem produzir infiltrações no subsolo. **É, portanto, indispensável realizar-se, a montante da edificação, um dispositivo destinado a afastar as águas das fundações :** este papel é reservada para a rede de drenagens. Não vamos insistir sobre a maneira de se realizar esta drenagem, que remetemos para a literatura especializada (*Consultar em particular «L'assèchement des murs» publicado pelo U.T.L., editado pela S.D.T., 9, rue La Pérouse, Paris – 16^o*). A drenagem deve evacuar, a jusante longe da edificação a proteger, as águas que recolha.

O problema é o mesmo se, em lugar das águas de infiltração, estivermos em presença de um lençol freático. Pode acontecer que, ao abrir-se a escavação da obra, se atravesse uma camada de terreno na qual circulem águas subterrâneas. Ainda aqui, compete à rede de drenagem impedir estas águas de chegarem junto da edificação.

Da mesma maneira, as águas pluviais escorrem ao longo das fachadas podendo penetrar no solo e molhá-lo. **É desejável neste caso, prever-se, em redor da edificação, um pavimento periférico que afaste as águas e as conduza para a drenagem.**

Águas de aparecimento fortuito

Se é fácil, e relativamente pouco custoso, prever-se uma rede de drenagem que ponha as fundações da edificação ao abrigo das águas de infiltração, é bastante mais complexo tomarem-se precauções contra águas consequentes de roturas de tubagens, porque as consequências de tais acidentes não podem ser descobertas senão quando já é demasiado tarde.

Vimos atrás que estas roturas aparecem porque as tubagens estão, a maior parte das vezes, assentes sobre um aterro, que assenta. É necessário, portanto, que estas tubagens assentem seja sobre «terreno firme», seja sobre suportes fundados sobre este. E como, apesar de tudo, sempre se podem produzir roturas acidentais, é importante que as canalizações de escoamento das águas pluviais ou domésticas saiam da edificação, o mais depressa possível, perpendicularmente às paredes exteriores que por elas são atravessadas. **Não é, portanto, recomendado, que existam canalizações paralelas às fachadas e, sobretudo, colocar-se essas canalizações na própria vala circundante, consequente da construção do edifício.**

Assentamentos devidos a uma variação do lençol freático

Existe uma outra categoria de sinistros, pouco numerosos mas sempre graves, provocados por assentamentos devidos a uma variação do lençol freático. Com efeito, quando ocorra um abaixamento do nível do lençol, a pressão no terreno aumenta, porque a densidade do solo imerso é inferior à do mesmo solo não imerso. Este acréscimo de pressão pode provocar novos assentamentos. Estes são em geral fracos se o terreno abandonado pelas águas for constituído por areias ou saibros compactos, mas pode atingir valores muito importantes se estivermos em presença de uma argila. **É bom, portanto, antes de se começar a construção, tomarem-se informações sobre possíveis variações do lençol e, em caso de dúvidas, prever-se uma estrutura suficientemente rígida para poder aceitar, sem excesso de problemas, assentamentos do terreno de fundação.**

4. FUNDAÇÕES HETEROGÉNEAS

Não é raro que, em construções importantes, certas partes da obra desçam a profundidades muito diferentes : de facto, o terreno encontrado pode não ser o mesmo em toda a extensão da obra. Temos aqui uma dupla heterogeneidade : a do terreno e a da obra. Por outro lado, pode-se, também, encontrar lado a lado :

- Edificações muito pesadas com uma fraca capacidade de deformação, portanto necessitando fundações profundas se o terreno superficial for de qualidade medíocre;
- Edificações muito ligeiras, em que não é rentável fundar em profundidade e que se podem assentar à superfície, tomando-se algumas precauções elementares.

Nos dois casos – terreno heterogéneo, modos de fundação diferentes – há uma regra de ouro que se deve respeitar : **deve ser completa a dessolidarização entre as diversas obras.** O desconhecimento desta prescrição deu lugar a alguns sinistros espectaculares. Vamos descrever um que se produziu, há quinze anos, numa cidade do Sudoeste e cujo custo se aproximou dos 100 milhões de francos da época. Este sinistro é rico de ensinamentos, porque mostra que é perigoso construir-se sobre aterro e, ao mesmo tempo, preverem-se, sem juntas, obras fundadas de maneiras diferentes.

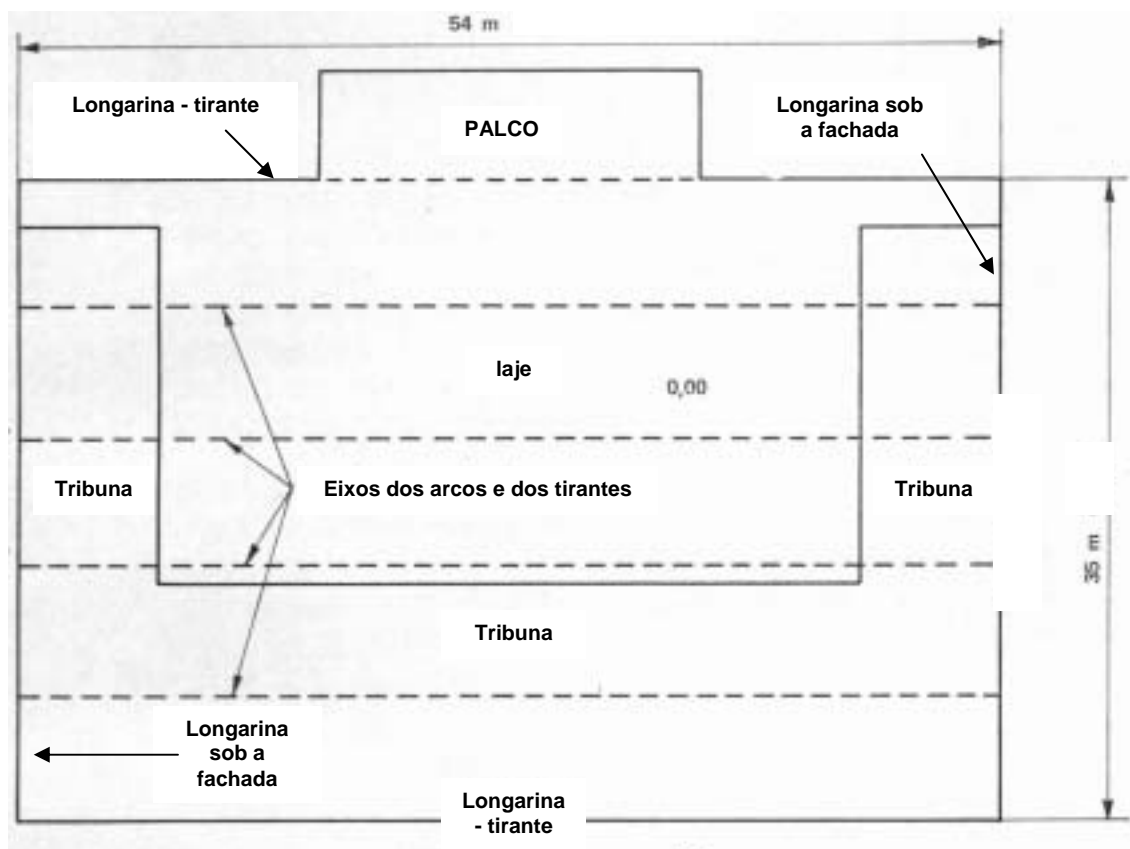


Fig. 15 – Planta do pavilhão desportivo

Tratava-se de um pavilhão desportivo constituído por uma casta nave rectangular de 35,00 x 54,00 m, em que três dos seus lados estavam ocupados por tribunas em betão armado, e o quarto por um grande palco.

O conjunto estava coberto por uma estrutura metálica composta por seis arcos de 54 m de vão, afastados de 7 m e articulados na base (fig. 15).

O terreno encontrado era particularmente mau (Fig. 16) : se tomarmos como cota 0,00 o nível do "limpo" da sala, encontramos 12 m de vasa mole, de (-)2,50 a (-)14,50, depois uma mistura de areia e saibro com 4,00 m de espessura, até à cota de (-)18,50. Estes aluviões sobrepunham-se a uma margamole com 1,60 m; enfim, a margamole compacta foi encontrada à cota (-)20,10. A vasa era particularmente instável, pois tinha uma densidade húmida de 1,25 para um teor em água de 70%. Sobre esta vasa, um aterro de 1,50 m de espessura tinha sido executado dois anos antes de ter sido iniciada a construção.

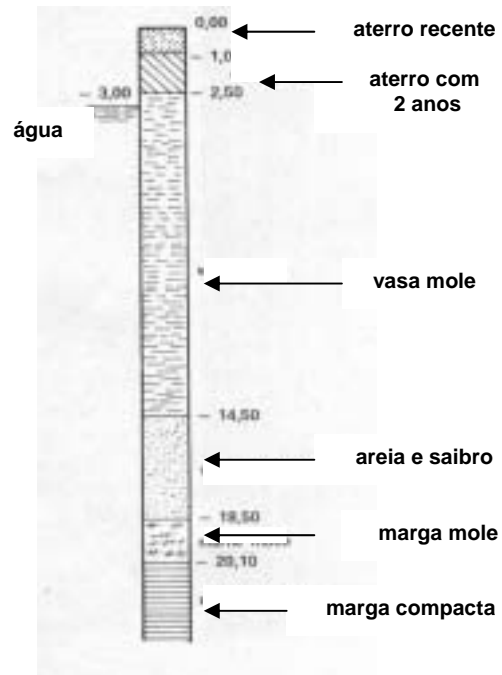


Fig. 16 – Corte do terreno no qual estava fundado o pavilhão desportivo

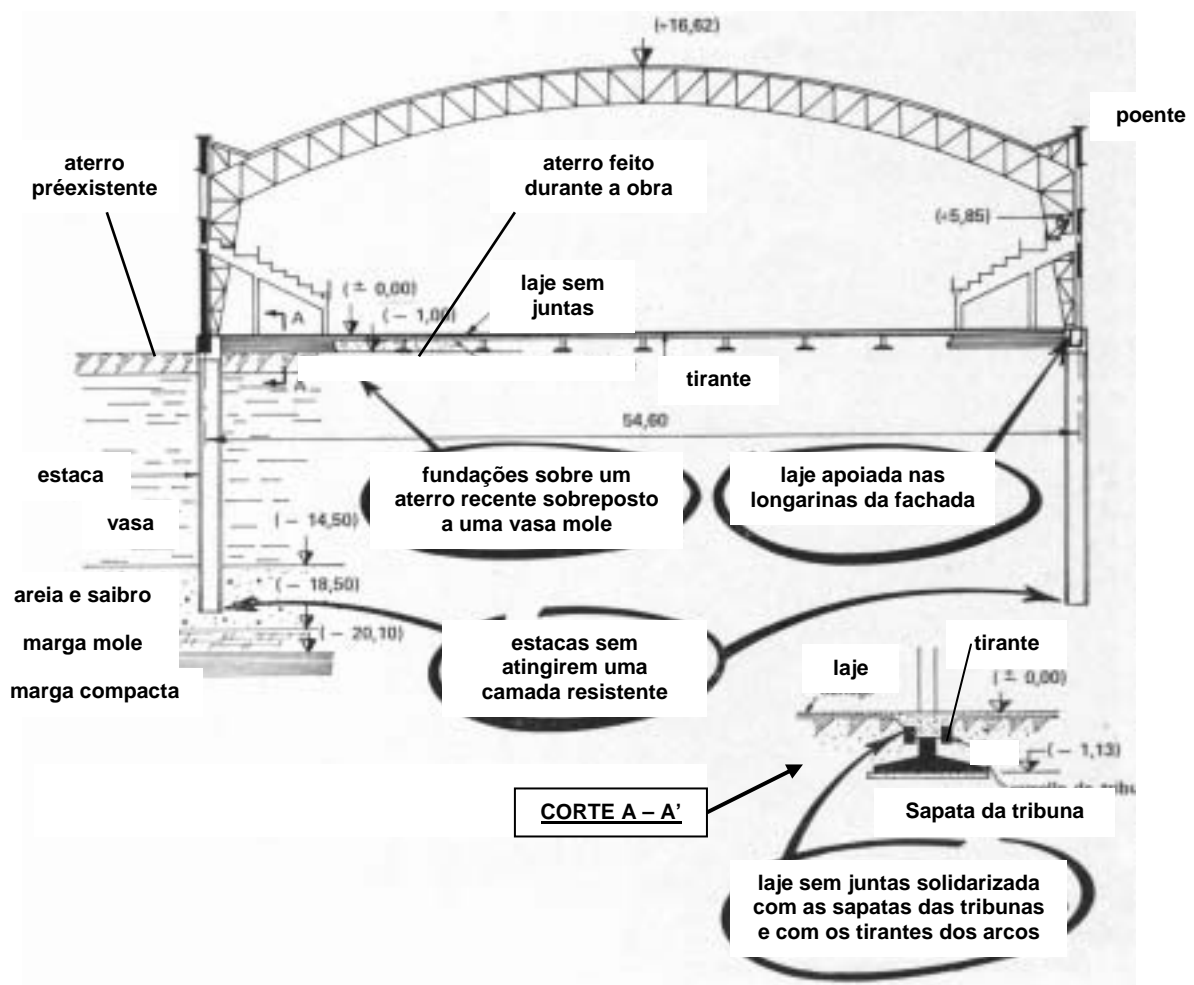


Fig. 16 – Corte vertical da nave desportiva

A solução adoptada para as fundações foi a seguinte : os arcos repousavam sobre estacas perfuradas, ancoradas na camada de areia e saibro, e ligadas entre cabeças por tirantes destinados a equilibrar o impulso dos arcos; no sentido perpendicular, as estacas estavam ligadas por longarinas de suporte das fachadas. O palco estava igualmente fundado sobre estacas. Pelo contrário, por questões de economia, as tribunas foram realizadas sobre sapatas superficiais assentes à cota (-)1,13, quer dizer, sobre o aterro com dois anos. Uma laje geral em betão armado, sem juntas, estendia-se sobre toda a superfície do piso térreo. Esta laje repousava sobre um outro aterro, com cerca de 1 m de espessura, aterro ao mesmo tempo muito pesado e muito deformável, onde se encontraram pedras de alvenaria inteiras, com vazios importantes entre si (fig. 18). Ainda por cima, esta laje estava bloqueada nas longarinas das fachadas, nos tirantes dos arcos e nas sapatas das tribunas, formando, assim, uma ligação rígida entre os elementos fundados sobre sapatas e os que repousavam sobre as estacas.



Fig. 18 – Grandes blocos de pedra existentes no aterro

Sobre estas disposições construtivas, podem-se, *a priori*, formular quatro críticas :

- Em primeiro lugar, é contra-indicado sobrecarregar um terreno de vasa com aterros tão pesados : o seu peso, exercendo uma tensão superficial de $0,320 \text{ kg/cm}^2$, era suficiente, só por si, para constituir um risco de fluência da vasa, portanto um risco de deformação do solo;
- Em seguida, tendo sido realizado o último aterro em más condições, o seu assentamento ao longo do tempo deveria provocar inevitavelmente desordens, pelo menos, na laje geral;
- Terceira observação : as estacas terminavam num estrato de areia e saibro cuja estabilidade era precária, pela presença de uma camada de marga mole subjacente;
- Por fim, teria sido essencial dessolidarizar totalmente, por um lado, a obra metálica, as suas longarinas e os seus tirantes, e por outro, os elementos fundados superficialmente, a saber : as tribunas e a laje geral propriamente dita, a qual deveria comportar, além disso, dada a sua extensão, toda uma rede de juntas de dilatação (NT : retracção, no texto original).

Efectivamente, apareceram desordens muito rapidamente : o solo abateu lentamente sob a laje, que se afundou na parte central, mas ficou apoiada nos pontos rígidos constituídos pela sapatas superficiais e pelas longarinas das fachadas.

As tribunas, sob as quais o solo de fundação se desnudava, sobrecarregadas também pela laje, em consequência do assentamento próprio do aterro superficial, seguiram o movimento e desceram, em certos pontos, 35 cm.

Os tirantes dos arcos metálicos foram puxados para baixo e sofreram importantes deformações (fig. 19).

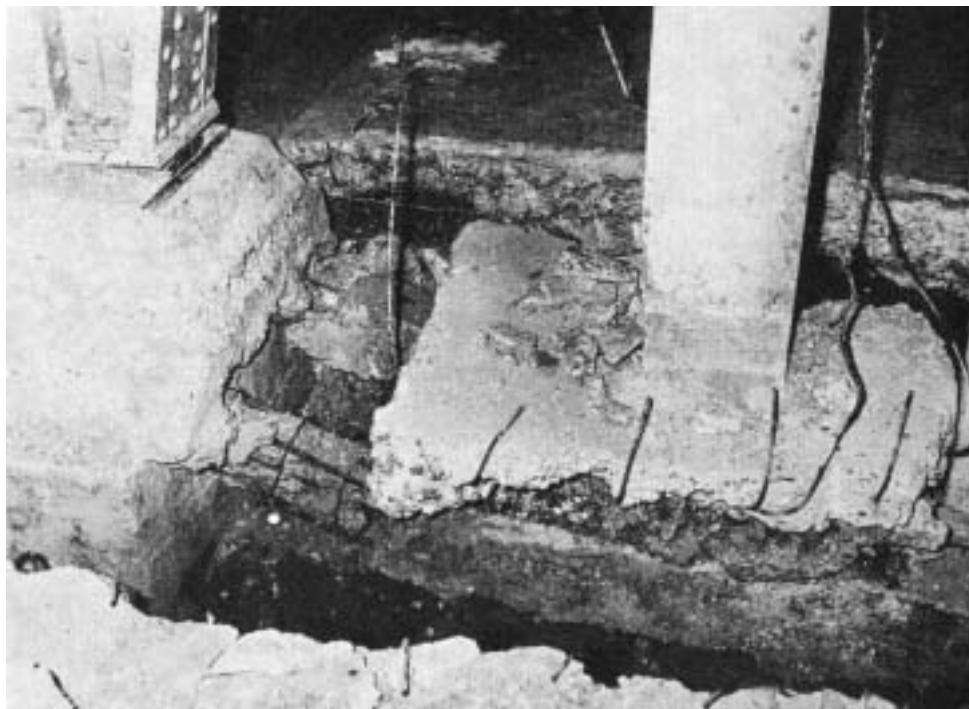
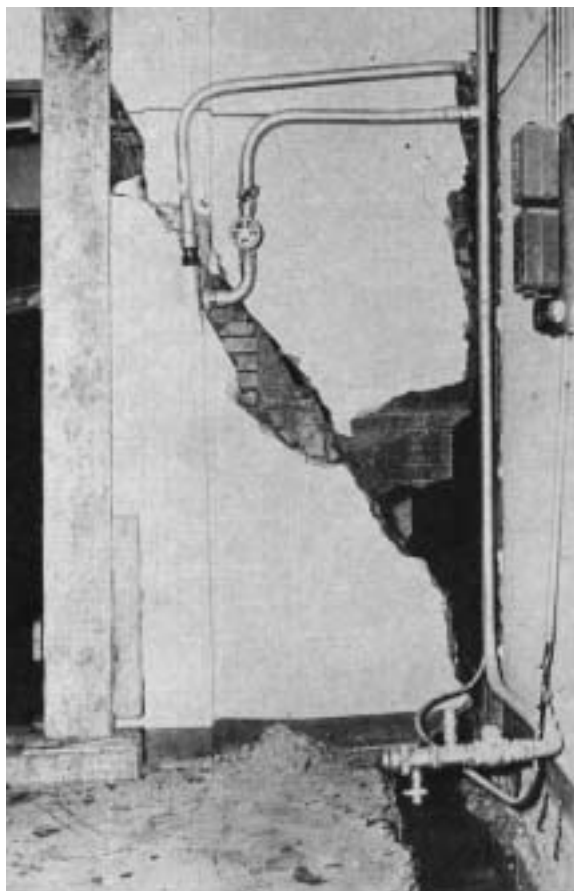


Fig. 19 – Danos sofridos pelos tirantes dos arcos, solidários com as sapatas das tribunas

Fig. 20 – Fissuração nas paredes divisórias transversais

Como uma zona, cada vez mais vasta, da laje pesava sobre as longarinas das fachadas, as estacas acabaram por punçoar, por sua vez, toda a camada de areia e saibro e afundaram-se de forma irregular, até um máximo de 18 cm. Assim, as paredes exteriores fissuraram e desligaram-se da estrutura metálica, ao mesmo tempo que fendas – algumas atingindo 5 cm – afectaram as paredes divisórias, feitas em tijolo furado (fig. 20), e que desordens de todas as naturezas apareceram nas instalações interiores (rotura de canalizações...).

Nem sequer mencionamos, nem representamos nos esquemas as obras anexas circundantes da grande nave, obras cuja cobertura (laje em betão armado) se apoiava por um lado em consolas solidárias com a nave, e do outro sobre paredes fundadas à superfície. No seguimento dos assentamentos diferenciais, a inclinação desta laje, para o exterior, foi tal que era de temer que escorregasse sobre os seus apoios.



A estabilidade geral da obra ficou muito cedo em perigo e foi necessário tomarem-se medidas de urgência.

A primeira consistiu em libertar as estacas das cargas que lhes provinham da laje, a qual foi cortada, por conseguinte. O seu afundamento no solo provocou muito rapidamente um assentamento suplementar deste, da ordem dos 20 cm. Demoliu-se igualmente, pelo mesmo motivo, um certo número de alvenarias e de condutas de ventilação. Desocultaram-se rapidamente os tirantes dos arcos, para se examinar a gravidade das suas deformações e evitar-se uma rotura cujas consequências poderiam ser catastróficas (certos tirantes foram efectivamente encontrados interrompidos, mas a laje de betão armado aguentava o peso dos arcos...). Foi necessário igualmente escorar as obras anexas, nas quais alguns pilares tinham sofrido rotura, e prover de contrafortes os terraços em balanço.

Os trabalhos de reposição da segurança (em sub-escavação para construção de estacas, etc.) foram particularmente delicados e onerosos, já que se estimaram num número respeitável de dezenas de milhões de francos antigos.

5. EDIFICAÇÕES ENCOSTADAS, CONSTRUÍDAS EM ÉPOCAS DIFERENTES

Quando se constrói uma edificação, o terreno sob as suas fundações só adquire o seu assentamento definitivo ao fim de um período de tempo mais ou menos longo, podendo este assentamento ser quase instantâneo em caso de solos muito permeáveis, como as areias e os saibros, e podendo, no outro extremo da escala, demorar um ano ou mesmo mais no casos das argilas gordas muito pouco permeáveis (o caso dos aterros, está evidentemente excluído).

É, portanto, evidente que se tivermos que construir um novo imóvel encostado a outro construído anteriormente, o efeito de assentamento do solo sob a acção das cargas da nova construção pode, por interacção, provocar o abatimento do terreno sob as fundações do edifício antigo, e, por consequência, causar desordens nesta edificação.

Só falaremos, bem entendido, dos casos em que as fundações dos dois imóveis foram descidas ao mesmo nível, e não de desordens provocadas por um recalçamento não efectuado ou mal efectuado, quando a nova edificação for fundada a um nível inferior ao que tinha sido a obra precedente.

Por consequência de um erro bastante difundido, algumas pessoas pensam que basta prever-se uma junta de dilatação entre os dois edifícios para se evitarem desordens. Infelizmente, o problema é bastante mais complexo, e o simples facto de se preverem novas fundações (forçosamente descentradas) ao longo das do imóvel anterior, chega para provocar neste último fissurações nas paredes principais ou divisórias ligadas à empena adjacente.

Se este antigo edifício comporta fundações superficiais sobre terreno compressível, podem ser encaradas, *a priori*, duas soluções :

- Seja preverem-se, para a empena encostada ao antigo edifício, fundações tão afastadas quanto possível da edificação antiga, o que pode trazer problemas técnicos e financeiros, porque implica suportar em consola a parte da obra situada para lá dessas fundações;
- Seja, eventualmente, fundar o novo edifício sobre estacas, sem qualquer ligação com o anterior.

Apoiados nestes conselhos, vamos descrever as desordens que se passaram, há uma dezena de anos, numa cidade dos Alpes. Este exemplo mostra como é difícil classificarem-se os sinistros em famílias bem distintas porque se foi mesmo a construção no novo edifício que provocou as desordens no antigo, este sinistro é, igualmente, um caso-tipo do perigo apresentado pelas fundações heterogéneas.

Por outro lado, este exemplo, que está ilustrado pelas figuras 21 (vista de conjunto) e 22 (pormenor), é diferente do caso geral que atrás descrevemos, porque não se tratou de um assentamento sob a parede de empena divisória : com efeito, se o solo sob a parede do edifício antigo tivesse assentado, as fissuras estariam inclinadas no sentido contrário das que se podem notar nas fotografias. Vejamos, então, este caso :

Fig. 21 e 22 – Vista de conjunto e de pormenor das desordens que afectaram um edifício depois da construção de uma edificação vizinha fundada de forma diferente

O edifício situado à direita na figura 21 tinha sido construído anteriormente sem prévio reconhecimento do solo. A escavação tinha sido efectuada na sua globalidade de uma só vez : o terreno encontrado comportava, à superfície, uma fina camada de argila, depois areias e saibros, nos quais foi fundado o edifício, por intermédio de sapatas exercendo, sobre o solo, uma tensão de 3 kg/cm^2 . O rés-do-chão deste edifício estava sobreelevado em relação à rua, e tinha-se-lhe acesso por degraus situados no hall de entrada, tal como a cave era semi-enterrada.

Quando foi decidida a construção do segundo edifício (à esquerda na figura 21), a presença de uma loja na qual se deveria entrar directamente a partir da rua e a necessidade de se respeitar na cave o mesmo pé direito, fizeram prever-se, para a nova edificação, fundações cerca de 80 cm abaixo das da antiga obra. Foi durante dos movimentos de terras do segundo edifício que a empresa constatou que a camada de areias e saibros, na qual se tinha fundado o edifício vizinho, se tornava muito fina por baixo da nova obra, e que se situava sobre uma camada de argila mole e turfa com 6 a 8 m de espessura. Mais abaixo, ou seja, cerca dos 10 m de profundidade, foi revelada, por sondagens, a existência de uma espessa camada de areias e saibros nos quais foi decidido fundar o novo edifício, por intermédio de estacas.

Os construtores, pensando aliviar a extremidade mal fundada do edifício vizinho e, receando mais particularmente a empena deste, decidiram realizar ligações entre os dois imóveis. Estas ligações funcionaram bem demais : enquanto que o novo edifício, fundado sobre estacas, nem buliu, o outro, solicitando um terreno compressível, assentou, e a solidarização com o edifício novo provocou fissurações que se podem constatar nas fotografias. É de notar que este movimento demorou cerca de quinze anos até estabilizar (os rebocos foram refeitos em 1968).



Fig. 22

Este último exemplo mostra-nos igualmente a **necessidade de se mandarem executar sondagens sempre que se não conheça a natureza do solo.**

Estas sondagens são absolutamente indispensáveis se o terreno é presumivelmente heterogéneo e se comportar – como é o caso do exemplo precedente – alternância de camadas compressíveis e pouco compressíveis cujas espessuras respectivas podem variar muito rapidamente de um ponto para outro. Daqui resultam diferenças de compressibilidade e, portanto, assentamentos.

E isto leva-nos naturalmente ao capítulo seguinte.



6. FUNDAÇÕES SOBRE TERRENOS MUITO COMPRESSÍVEIS

O que dissemos para os aterros continua válido para os terrenos naturais muito compressíveis : consideramos que é perfeitamente possível fundar-se superficialmente, em muitos casos, sobre tais terrenos, na condição de se terem tomado algumas precauções.

A primeira precaução consiste em **se reconhecer as camadas de terreno que se encontram sob a edificação a erguer** : e quanto mais pesada for a edificação, mais profundo deverá ser o reconhecimento. Com efeito – e já o deixamos escrito (*«Bâtir», nº 176, Junho de 1969. Chroniques de l'Assistance Technique, pág. 17 e seguintes : « A estrutura, primeiro elemento do problema fundação»*) – as edificações solicitam tanto mais camadas de terreno quanto mais intensas forem as cargas. Portanto, não é único critério para se determinar a profundidade dos estudos, a implantação da edificação no solo : a título de exemplo, um armazém de 120 x 120 m, fundado sobre sapatas de 4 m², afastadas de 15 m em ambos os sentidos, é, *a priori*, qualquer que seja a sobrecarga de utilização, menos susceptível de assentar do que uma torre de vinte andares, cuja implantação seja apenas de 20 x 20 m. Inversamente, para tensões idênticas, uma sapata de 4m² provocará menos assentamentos que uma soleira de 150 m², porque ela solicita em profundidade uma camada de terrenos menos espessa.

Não existe nenhuma regra empírica para se determinar a profundidade das sondagens. Só um especialista em solos pode fixar a sua importância, mas é evidente que se deve ser muito prudente em obras pesadamente carregadas.

Por todas estas razões, seria temerário, portanto, encarar-se uma construção em terreno de qualidade medíocre sem se ter encomendado sondagens e, eventualmente, ensaios *in situ*

ou em laboratório. As investigações têm por objectivo reconhecer-se a importância e a regularidade das camadas de terreno encontradas, e de se fixar a amplitude aproximada dos assentamentos. O que é perigoso, com efeito, não é o assentamento propriamente dito, se for regular (na condição, decerto, de ser tomado em linha de conta, em fase de estudo prévio, para quantificação do número de pisos), mas são as suas possíveis variações entre um ponto e outro.

Se as sondagens evidenciarem diferenças muito sensíveis na espessura da camada de terreno compressível sob a implantação da futura edificação, e se as camadas terminarem em forma de cunha, como se diz em linguagem comum, é muito perigoso adoptarem-se fundações superficiais; com efeito :

- Se a obra for monolítica, ela inclinar-se-á em conjunto, como já vimos, no capítulo dos aterros, para o imóvel da fig. 5;
- Se a construção não for rígida, fissurará, podendo mesmo partir-se;
- Se tiver uma junta de dilatação, esta poderá abrir como mostra a figura 23 : no imóvel em questão, a junta abriu cerca de 1 m , ao nível do terraço.



Fig. 23 – Abertura da junta de dilatação de um imóvel fundado superficialmente sobre terrenos muito compressíveis

Pelo contrário, se as camadas compressíveis forem muito regulares, ou se poder ser tolerada uma ligeira inclinação, sem que resulte qualquer perigo para a estabilidade da edificação (caso de construções cuja altura é fraca em relação à sua dimensão em planta), não só é possível, como é mais económico, encarar-se fundações superficiais, na condição de se prever para a construção uma estrutura muito rígida; esta última condição pode facilmente ser realizada graças a uma judiciosa distribuição de paredes de fundação. Conhecemos numerosos exemplos de edificações que, graças a esta precaução elementar, se comportaram muito bem, apesar da mediocridade dos terrenos de fundação poder ter incitado os projectistas a preverem fundações profundas, perfeitamente injustificadas e muito mais dispendiosas.

Portanto, é a ausência de rigidificação que provoca o maior número de sinistros no caso de terrenos muito compressíveis. Na maior parte dos casos que examinamos, o simples facto de ter sido prevista uma quadrícula de sapatas contínuas, armadas e ligadas entre si por longarinas igualmente armadas, teria evitado o aparecimento de desordens, e por uma quantia muito razoável, pois as longarinas podem ser parte constituinte das paredes enterradas dos contrafortes das caves. **A cintagem da superestrutura por travamentos horizontais e verticais é igualmente uma boa precaução.**

Independentemente da falta de rigidez, a insuficiência de ancoragem das fundações no terreno provoca um bom número de sinistros que serão estudados no capítulo seguinte.

7. FUNDAÇÕES LEVADAS A UMA PROFUNDIDADE INSUFICIENTE

Fundar um edifício muito superficialmente apresenta um risco duplo :

- Os assentamentos são acrescidos seguidamente, pela possibilidade de fluência do terreno sob a sapata se esta estiver demasiado perto da superfície – apercebemo-nos disto quando pomos um pé em cima de lodo. Por outro lado, a capacidade de carga de um terreno homogéneo cresce em profundidade;
- Sob uma sapata insuficientemente profunda, as características do terreno podem ser alteradas por agentes externos tais como a água e o gelo.

Nos terrenos inclinados, aparece um terceiro possível perigo : pode haver escorregamento da sapata.

Devemos igualmente mencionar que nos dossiers dos sinistros devidos a insuficiência de fundações, constatamos que um grande número de fundações que não foram levadas ao «solo de boa qualidade», quer dizer, ficaram pela terra vegetal. Não insistiremos nisto, porque o remédio é evidente, e iremos agora enunciar as precauções a tomar para se evitarem os efeitos do gelo, os deslavamentos pela água e os escorregamentos em terrenos inclinados.

PRECAUÇÕES A TOMAR

Efeitos do gelo

O gelo pode manifestar-se logo no decurso dos trabalhos de fundação : com efeito, aparece frequentemente quando, no inverno, uma queda brusca de temperatura aparece quando as fundações acabaram de ser betonadas, e o solo pode congelar sob o betão de limpeza. **Uma protecção do betão fresco pelos meios habituais permite, ao mesmo tempo, prevenirmo-nos contra o congelamento do terreno. Aconselha-se, ainda, desde que o betão tenha endurecido o suficiente para não se correr o risco de ser conspurcado pela terra, de se proceder rapidamente ao preenchimento do aterro em cima e ao redor das sapatas.**

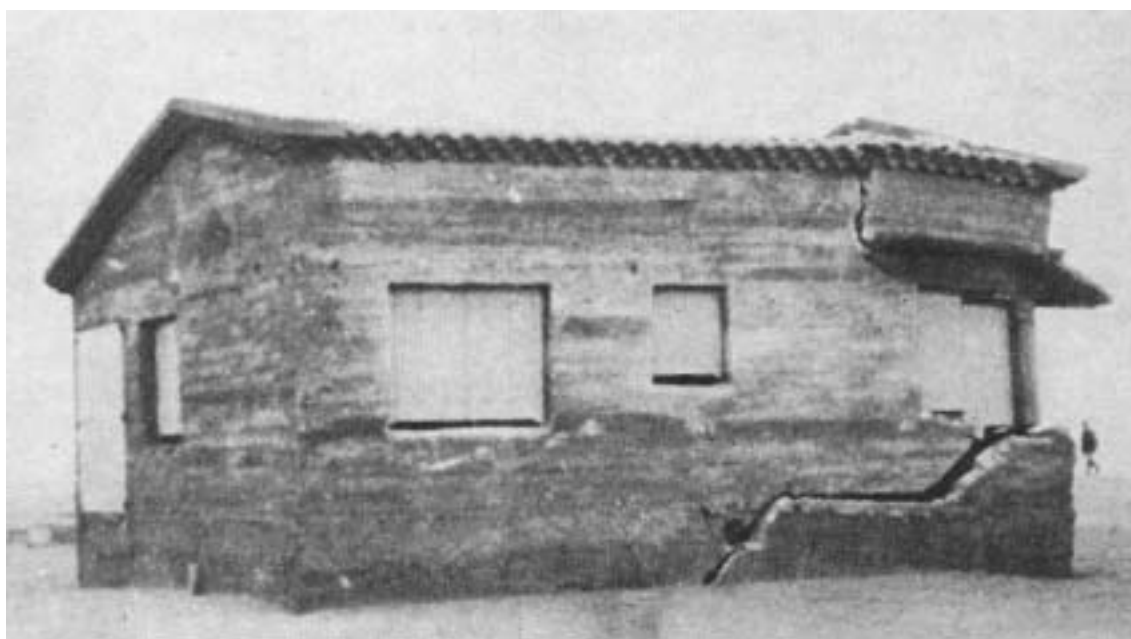
Para se proteger definitivamente as fundações contra o gelo, consegue-se enterrando-as a uma profundidade suficiente. Conforme as regiões, esta profundidade pode variar de 70 cm a 1 m. Pode ser reduzida em terrenos totalmente insensíveis ao gelo, mas inversamente, pode ser insuficiente para regiões de montanha onde as temperaturas no inverno sejam muito baixas. Devemo-nos, portanto, informar junto de especialistas locais.

Deslavamento pela água



Já vimos, no capítulo 3, que, se as fundações forem demasiadamente superficiais ou não protegidas por uma drenagem, as águas superficiais ou de infiltração podem conseguir levar consigo o terreno de fundação. Em muitos destes casos, se os caboucos ou as sapatas forem insuficientemente enterradas, podem ser deslavadas e completamente descalçadas. Foi o que aconteceu, há uma quinzena de anos, numa moradia fundada numa praia do Mediterrâneo : esta obra, cujas desordens aparecem de uma forma suficientemente explícita nas figuras 24 e 25, repousava em caboucos ancorados apenas a 30 cm na areia . Bastou a invasão da praia pelas águas, durante um temporal (e sem ondas excepcionais) para provocar roturas muito importantes. Naturalmente, a moradia teve que ser demolida.

**Fig. 24 e 25 –
Moradia fundada a uma profundidade
insuficiente, junto a uma praia**



Deslizamento das fundações

Todos sabem que quando temos que fundar a níveis diferentes, se devem tomar precauções para evitar as interações entre sapatas vizinhas e para se impedir o deslizamento das sapatas superiores : trata-se da regra definida no artigo 2.53 do *Document Technique Unifié 13-1* relativo às fundações superficiais, regra que é recordada na figura 26.

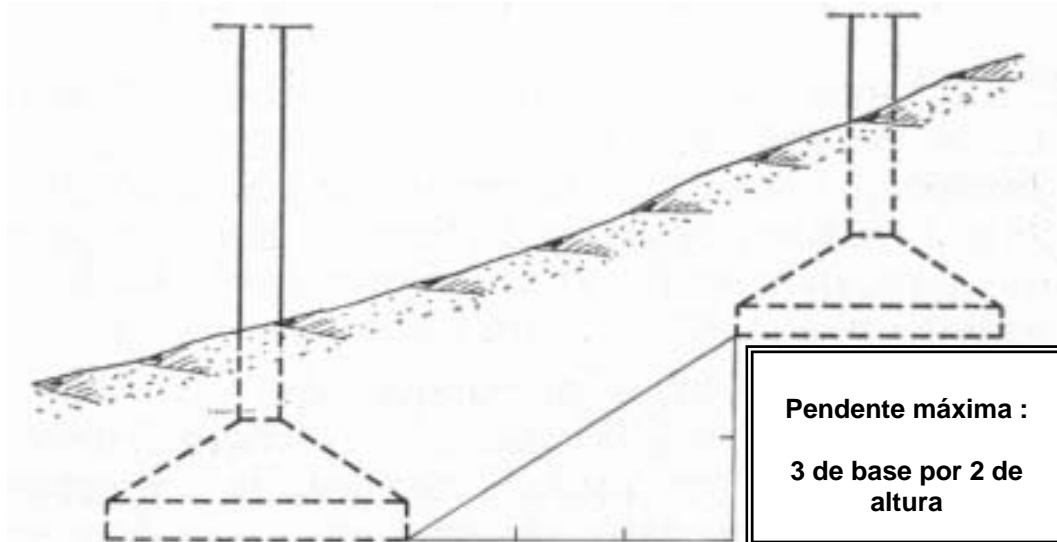


Fig. 26 – Regra a respeitar no caso de sapatas fundadas em níveis diferentes

Em terrenos inclinados (é o caso da figura 26), as mesmas precauções devem ser tomadas para se evitar um acidente análogo ao que sucedeu, há dez anos, na Suíça e de que a figura 27 mostra os resultados : os escombros que se vêem nesta fotografia pertencem a um hotel que ruiu durante a sua construção, quando dois pisos estavam construídos; depois da vistoria, o sinistro foi atribuído ao deslizamento de uma sapata de fundação.

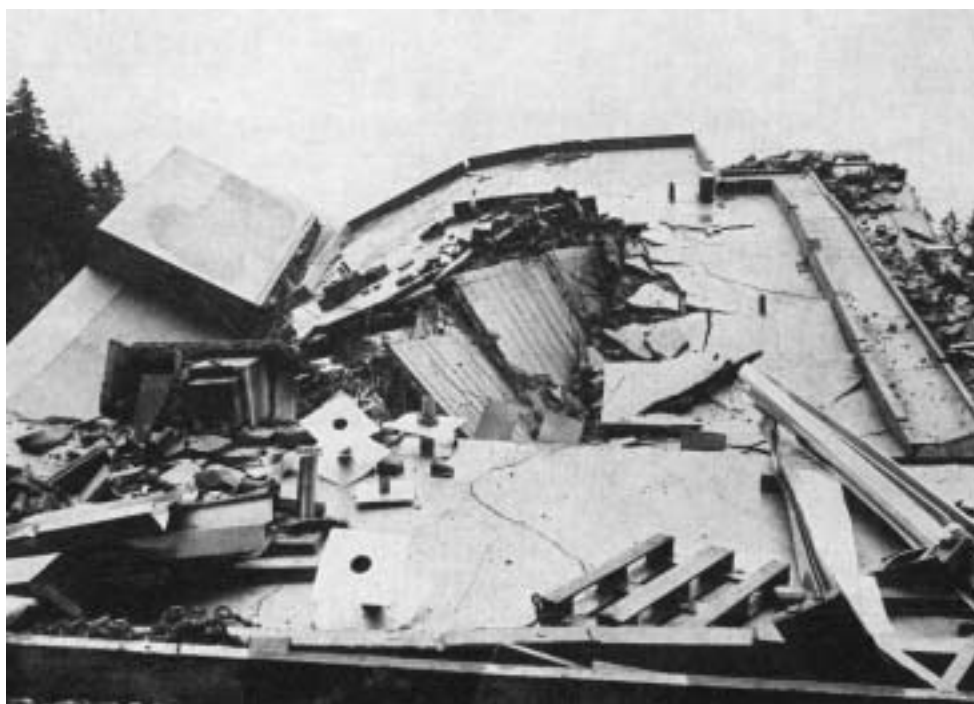


Fig. 27 – O deslizamento de uma sapata sobre um terreno inclinado provocou a ruína total deste hotel em construção

O caso que citamos só diz respeito aos escorregamentos de fundações em terrenos que, apesar de inclinados, eram considerados estáveis. Os movimentos do próprio terreno serão evocados a seguir.

8. CONSTRUÇÕES SOBRE SOLOS INSTÁVEIS

Ao redor do caso particular dos sismos, que não diz respeito apenas às fundações e é objecto de recomendações especiais, distinguiremos dois casos :

- Os solos superficialmente instáveis, quer dizer cuja causa de instabilidade reside à superfície : por exemplo terrenos argilosos sobre uma base em rocha, mas inclinada;
- Os solos cuja instabilidade tenha uma causa profunda, quer dizer, os terrenos situados sobre pedreiras ou explorações mineiras.

INSTABILIDADE SUPERFICIAL ESCORREGAMENTO DE TERRENOS

Nem sempre é fácil apercebermo-nos, *a priori*, da tendência que um terreno tenha para escorregar, porque, por muita sorte, nem todos os terrenos inclinados têm esta propensão. Só um estudo geológico profundo permite determinar se um terreno é estável ou não. É assunto para um especialista.

Pelo contrário, alguns acidentes são previsíveis : são numerosos os escorregamentos ocorridos após a abertura, a jusante, de uma escavação importante. Neste caso, deve-se ser prudente e, se um estudo geológico prévio mostrar que existe risco de escorregamento do solo a montante, devem-se tomar todas as medidas preventivas necessárias (muro de suporte, drenagem, etc.) porque, **em terrenos argilosos, uma simples presença de água provoca um escorregamento, mesmo se a pendente for quase nula.**

Foi devido a uma instabilidade superficial do solo à superfície que se produziu um sinistro, há perto de vinte anos, na zona da Côte d'Azur, que fez 11 mortos e 35 feridos. Os prejuízos materiais também foram consideráveis : 15 casas inteiramente destruídas, 40 parcialmente, sem contar com as culturas levadas e com a vegetação arrancada (fig. 28). O terreno, em pendente acentuada, era constituído por grês compacto cuja camada superficial tinha sofrido as alterações provocadas pelo tempo. Foi nesta última camada que foram fundadas as casas, construídas na



Fig. 28 – Deslizamento de terrenos na sequência de chuvas torrenciais

sua maior parte nos talwegues. A seguir a chuvas diluvianas, formaram-se nas encostas verdadeiras torrentes, arrancando tudo à sua passagem e levando consigo a camada superficial de grês e as casas nela fundadas. É provável que os desgastes tivessem sido menores se as fundações estivessem ancoradas no grês compacto. Para mais, é sempre perigosos construir-se na única passagem possível para as águas. Enfim, **em terrenos inclinados, é a vegetação que retém as terras** e o desflorestamento arrisca provocar sinistros catastróficos. Após este sinistro, aliás, a municipalidade decidiu uma reflorestação intensiva.

A construção em encostas apresenta, portanto, riscos suplementares, e nada se deve iniciar sem que se mande executar um estudo da estabilidade do terreno.

ZONAS DE EXPLORAÇÃO DE PEDREIRAS

Periodicamente, a imprensa assinala o abatimento do solo sobre antigas pedreiras. Estes acidentes são tão mais perigosos quanto nada os deixa prever. Num certo número de cidades, existem plantas de localização das pedreiras. Há todo o interesse em os consultar antes de qualquer projecto. Infelizmente, muitas outras pedreiras são mal conhecidas, mas frequentemente a história local permite descobrir-se a sua existência. Em caso de dúvida, são indispensáveis sondagens profundas. Se não há a possibilidade de construir noutra local, deve ser realizada, antes de qualquer outra operação, a consolidação das pedreiras, por meio de estacas.

ZONAS DE EXPLORAÇÃO MINEIRA

O estudo de desordens provocadas pela exploração das minas é complexo e sai do quadro deste trabalho. Vamo-nos limitar, portanto, a dar algumas indicações gerais sobre este assunto.

Os problemas à superfície são devidos ao entulhamento imperfeito das galerias da mina.

Pode-se utilizar o entulhamento pneumático, o entulhamento hidráulico e o desmoronamento. Esta última técnica consiste em provocar o desabamento da galeria por supressão dos escoramentos. O desmoronamento é o procedimento mais divulgado porque é o menos custoso, mas está na origem dos problemas superficiais mais importantes.

Muito esquematicamente, **a exploração de uma mina cria uma depressão por abatimento, em cujos bordos são mais graves as desordens.**

Se estivermos em presença de um terreno aluvionar cujas deformações sejam bastante regulares, as construções situadas no fundo dessa depressão sofrem assentamentos mais ou menos uniformes. Se as construções forem convenientemente cintadas, não deverão sofrer danos. Pelo contrário, o terreno situado nos taludes da depressão está submetido a esforços de tracção e de compressão que arriscam fazer deslocar as construções.

Portanto, se quisermos preservar uma construção importante ou um monumento histórico, é recomendável começar a exploração da mina mesmo por baixo da edificação em causa e de expandir radialmente a sua exploração, ao redor do ponto de partida. Mas, na prática, as coisas não se passam tão simplesmente :

- A exploração mineira prossegue o seu avanço em função da posição dos poços de extracção, da riqueza das camadas, da sua inclinação, etc. Esta exploração progride em direcção à tal edificação que, normalmente, vai sofrer a primeira prova numa zona de extensão assim que a bordadura da depressão atingir as suas fundações.

- Este fenómeno é, por vezes, complicado pela presença de antigas explorações a fraca profundidade abaixo do solo natural. Estas galerias, por vezes clandestinas, podem ser afectadas pelos assentamentos provocados pelas explorações recentes. Isto provoca perturbações difíceis de prever na evolução dos movimentos do solo à superfície. Um outro elemento de perturbação pode ser igualmente causado pela inclinação das camadas exploradas.
- O terreno pode ser constituído por uma espessa camada de aluviões, é o caso da planície da Alsácia, por exemplo, onde o solo “obedece” rapidamente aos movimentos provocados pela exploração mineira. O terreno pode, ao contrário, compreender espessas camadas de grês ou de xistos (casos das bacias do Loire) que, sob o efeito de uma exploração a grande profundidade (da ordem dos 600 a 800 m), formam abóbadas que podem resistir durante vários anos à carga do terreno sobreposto às galerias, até ao dia em que se assiste a roturas brutais, formando-se falhas com rejeitos consideráveis. Entre estes dois casos extremos, podem-se encontrar terrenos que não desabam tão facilmente como numa planície aluvionar de estrutura geológica homogénea.

Em função da natureza do solo, a velocidade de exploração e a localização da edificação em relação às galerias, os problemas manifestam-se durante um período muito variável após a exploração das minas. Para desordens importantes, pode-se indicar aproximadamente :

- Um atraso de seis meses até dois anos, para as minas de potássios na Alsácia;
- Um atraso de quatro a cinco anos, para a Bacia do Norte e do Pas-de-Calais;
- Um período muito mais longo, ultrapassando dez anos e por vezes vinte anos, para a Bacia do Loire.

A título indicativo, os assentamentos sucessivos nas construções podem atingir progressivamente números consideráveis. Constatamos um assentamento de 11 m numa Igreja em Saint-Étienne e um assentamento de 17 cm no norte da Bacia do Ruhr.

Algumas fotografias feitas na Bacia do Norte e do Pas-de-Calais ilustram o que se expôs.

A figura 29 representa as importantes desordens sofridas pelo cemitério de Vieux-Condé em consequência de fenómenos de compressão.



Fig. 29 – Desordens afectando um cemitério na sequência de compressões devidas a movimentos mineiros

A figura 30 representa uma casa de engenheiros em Marles, que sofreu fracos abatimentos, mas extensões muito graves, cuja direcção principal é grosseiramente paralela à fachada do imóvel.



Fig. 30 – Imóvel fundado numa zona de extensão

A figura 31 representa uma casa em Bruay, construída em 1958, exactamente sobre a Falha de Ruitz, limitando o deslizamento. Esta falha é aproximadamente perpendicular à fachada.



Fig. 31 – Casa construída sobre uma falha

As figuras 32 e 33 respeitam ao centro n.º 2 de Auchel. Os poços estão protegidos por um "stot". As bocas dos poços afastaram-se de 40 a 50 cm e o encontro da viga metálica (formando ponte) de 70 a 80 cm. As explorações levadas a cabo na bordadura do "stot" provocaram extensões muito importantes que se traduziram pelo movimento relativo do apoio da viga, movimento muito visível na fotografia 33.

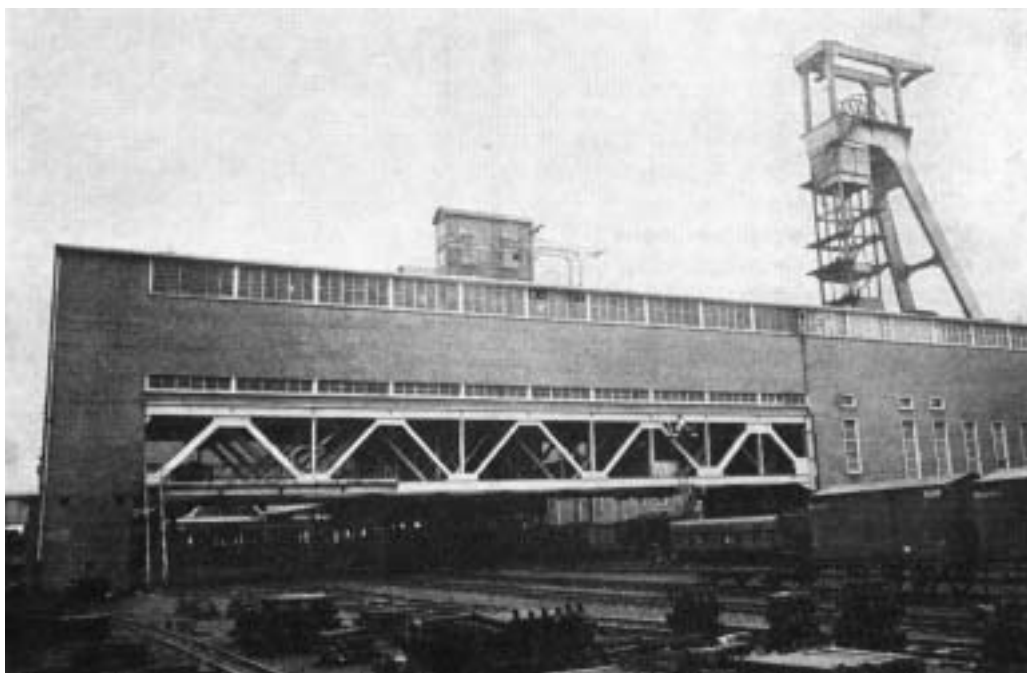
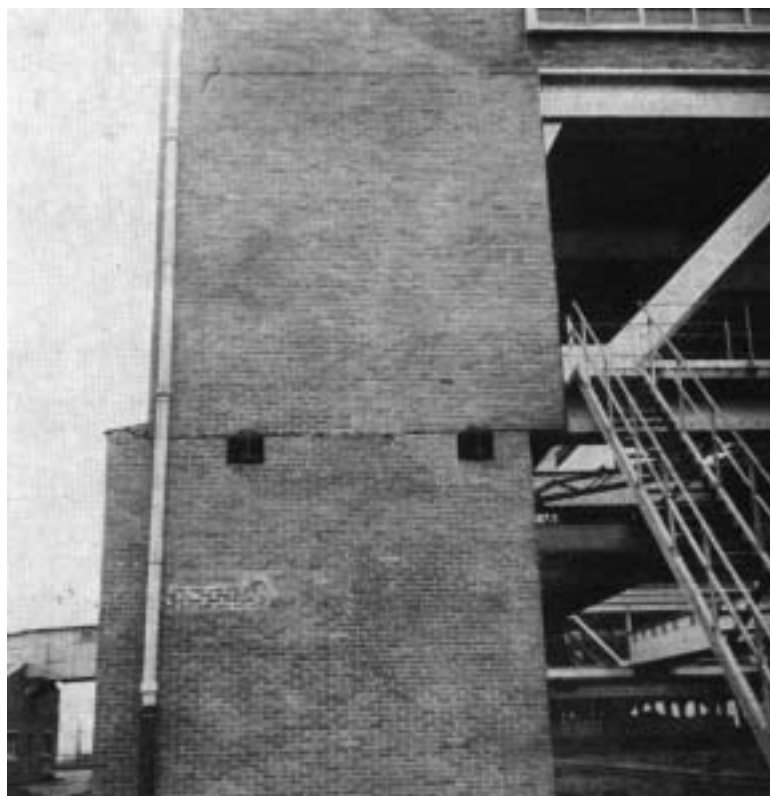


Fig. 32 – Sob a acção de movimentos mineiros, a viga metálica formando ponte sofreu, em relação ao seu encontro, um importante movimento horizontal



**Fig. 33 – Pormenor do apoio da viga.
NOTA : a prumada de águas pluviais foi deslocada posteriormente**

As precauções a tomar para se construir em zonas susceptíveis de serem afectadas por movimentos causados por minas dependem da natureza dos terrenos e das condições de exploração. Em casos correntes, podem-se, entretanto, preconizar as recomendações genéricas seguintes :

- **Evitar as construções alongadas ou dividi-las em blocos separados por juntas muito largamente dimensionadas entre duas paredes ou suportes rígidos, com cobre-juntas;**
- **Evitar as abóbadas principalmente em alvenaria;**
- **Evitar igualmente as janelas e aberturas de grandes dimensões;**
- **Na superestrutura, criar ligações eficazes para resistirem aos esforços de tracção. Cuidar das ancoragens e dos apoios dos pisos e das estruturas trianguladas;**
- **Evitar, na medida do possível, a transmissão às fundações dos esforços devidos à curvatura do terreno, dessolidarizando estas fundações do solo de fundação por uma junta horizontal de escorregamento, o que conduz o evitar a solução de ensoleiramento geral se ela não for imposta por imperativos particulares;**
- **Travar horizontalmente as fundações a fim de resistir aos esforços de tracção, particularmente perigosos, que se podem manifestar no seu plano;**
- **Prever escoamentos fortemente inclinados para as águas e munir as canalizações com juntas elásticas.**

No que respeita ao afundamento vertical das paredes e suportes, deve-se, na nossa opinião, distinguir dois casos :

- No primeiro, se tivermos terrenos que se deformam facilmente sem provocar o aparecimento de falhas. É então recomendado, nomeadamente pelos técnicos alemães, prever-se estruturas armadas dúcteis, susceptíveis de sofrer deformações sensíveis sem rotura. O que parece ser necessário desde que as construções apresentem, em planta, dimensões importantes;
- No segundo caso, se tivermos terrenos que não se podem deformar sem rotura e provocar falhas importantes. Neste terrenos, é particularmente recomendado preverem-se construções de fracas dimensões em planta, com paredes de fundação formando verdadeiras vigas, capazes de vencer vãos ou de trabalhar em consola.

Realizam-se, então, estruturas em quadrícula de sapatas e vigas contínuas de grande inércia, solução por vezes designada pela denominação de “caixa para ovos”.

Enfim, em certos casos, nomeadamente quando se trate de igrejas, reservatórios de água elevados, edifícios públicos, obras de arte, se são de temer assentamentos importantes, **é útil prever-se, como tem sido feito muitas vezes, nichos para colocação de macacos que permitam realizar, em caso de assentamento, as adequadas correcções de verticalidade.**

9. CONCLUSÃO

Acabamos de examinar as principais desordens imputáveis às fundações superficiais.

Os exemplos mostram-nos que a maior parte dos sinistros são devidos a um erro de concepção ou a uma ausência de reconhecimento prévio. É por isso que gostaríamos de chamar a atenção do leitor para o interesse que os donos de obra ou os mestres de obras têm em chamar, desde a fase do estudo prévio, um técnico competente que os aconselhará, não só sobre o tipo de fundações a prever, mas também sobre as incidências eventuais do terreno sobre a estrutura da obra. Contrariamente a uma opinião correntemente expressa, a intervenção de um especialista destes não é onerosa, porque permite, frequentemente, realizarem-se economias substanciais na fase de execução da obra. Quantas vezes, com efeito, vimos projectos que não estão minimamente adaptados ao terreno; por exemplo, uma má implantação dos pontos de apoio conduz a despesas consideráveis, se for necessário, posteriormente, adoptarem-se modos de fundação diferentes daqueles que foram previstos no projecto inicial; ou porque certos terrenos impõem fundações que é impossível «rentabilizar» com edificações de fraca altura.

É, portanto, necessário que os construtores «pensem» o seu projecto em função do terreno encontrado, e é por isso que a colaboração do arquitecto com o engenheiro deve ser estabelecida desde o início. Só nesta condição, e é esta a nossa conclusão, é possível encontrar-se um modo de fundação económico e seguro.

FUNDAÇÕES PROFUNDAS

Acabamos de examinar as desordens imputáveis às fundações superficiais. Vamos, então, debruçar-nos sobre os sinistros que encontram a sua origem nas fundações profundas, por poços ou por estacas.

Não iremos estudar o caso das fundações heterogéneas, quer dizer, casos em que a mesma edificação está fundada, sem precauções especiais, sobre poços ou estacas e sobre sapatas. Este problema, com efeito, foi estudado no quadro das patologias das fundações superficiais.

Antes de examinar as principais causas dos sinistros, queríamos assinalar que, se os acidentes de fundações profundas são bastante numerosos, as fotografias com qualidade que constam dos nossos dossiers são raras. É por isso que este capítulo está ilustrado com numerosos desenhos, cujo papel não será dar uma representação rigorosa dos problemas (admitindo que isso fosse possível) mas, pelo contrário, esquematizar, de maneira clara, as origens dos sinistros. Devemos á gentileza do Sr. Cambefort a autorização para reproduzir as figuras 23, 25, 26, 30 a 34, e 36 a 40, que foram extraídas, na maior parte, de uma obra que acaba de ser publicada (H.Cambefort – Géotechnique de l'Ingénieur – Reconnaissance des sols – Eyrolles 1971).

I. CLASSIFICAÇÃO DOS SINISTROS

Tentaremos classificar por categorias os diferentes sinistros examinados. Esta classificação é mal jeitosa porque, muitas vezes, diversas causas concorrem para um mesmo sinistro. Para simplificar a nossa exposição, acabamos por agrupar os sinistros em famílias, mesmo que esta arrumação seja discutível.

- Numa primeira categoria, reunimos todas as desordens imputáveis a uma ausência de reconhecimento dos solos ou de reconhecimentos incompletos ou inadaptados.

Este tipo de desordens representa cerca de 40% do conjunto dos sinistros reportados.

- Classificamos numa segunda categoria as desordens devidas a uma má interpretação dos resultados das sondagens ou dos ensaios, ou ao desconhecimento das leis da mecânica dos solos.

Esta segunda categoria corresponde a cerca de 35 % do conjunto dos sinistros reportados.

- Numa terceira categoria, citamos as desordens imputáveis a defeitos de execução, que representam cerca de 15 % do conjunto.

- Enfim, os 10 % sobrantes provêm do ataque das estacas ou dos poços pelo meio que atravessam (águas agressivas, apodrecimento das estacas em madeira, etc...).

II. AUSÊNCIA DE RECONHECIMENTO PRÉVIO RECONHECIMENTOS INCOMPLETOS

Antes de se fundar qualquer obra, seja ela qual for, é indispensável proceder-se ao reconhecimento do solo. E quanto mais pesado e importante for a edificação, mais profunda deverá ser a investigação. O que dissemos para as fundações superficiais aplica-se, sem alterar uma só palavra, às fundações profundas.

A consulta das cartas geológicas dá indicações que, sendo por vezes fragmentárias, são frequentemente preciosas, porque permitem determinar-se aproximadamente a natureza dos terrenos encontrados, assim como a densidade das sondagens a efectuar. Em particular, em locais aluvionares, elas servem para aconselhar ao construtor muita prudência, porque não é raro encontrarem-se alternâncias de terrenos compactos com solos moles, cujas cotas e espessuras podem variar muito rapidamente de um ponto para outro.

A falta de reconhecimento prévio pode conduzir a muitos mal entendidos, nomeadamente :

- Fundações estabelecidas e profundidade insuficiente;
- Formas de fundação não adaptadas ao terreno.

A . Fundações estabelecidas a uma profundidade insuficiente

O caso mais típico é aquele em que as sondagens pararam numa camada resistente, sem que se procure conhecer a espessura dessa camada, nem a natureza dos terrenos a que ela se sobrepõe. No entanto, num solo constituído por aluviões, encontram-se frequentemente bancos de areia e de saibros intercalados com estratos de lodos e turfas, e a paragem das sondagens em tais bancos pode conduzir posteriormente aos mais graves juízos errados.

É evidente, com efeito, que uma camada com 3 m de areias e saibros pode permitir fundar-se, sem grande risco, cargas pouco importantes e suficientemente espaçadas, qualquer que seja o terreno subjacente, porque a repercussão dessas cargas sobre as camadas compressíveis é fraca, mas o problema é diferente se se tratar de fundar pontos de apoio pesados e aproximados. Consideremos, por agora, a figura 1. Ela mostra-nos que a zona de influência das cargas de uma estaca isolada (bolbo 1) é bastante menos importante que a que resulta da interacção das cargas de três estacas próximas (bolbo 2).

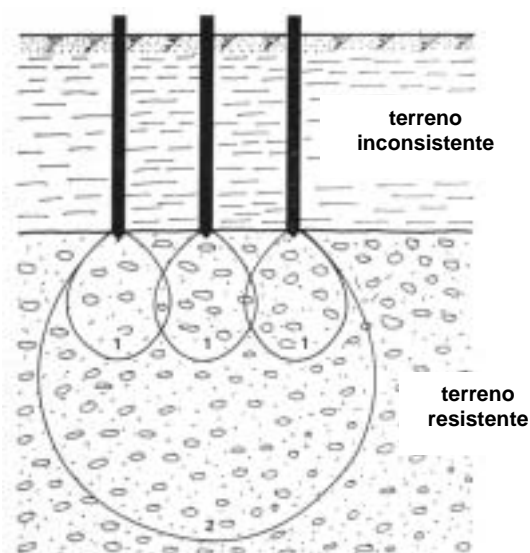


Fig. 1 – Acção de grupo de um maciço de três estacas (bolbo)

- 1 – Bolbo de pressões para cada estaca tomada isoladamente
- 2 – Bolbo de pressões para o grupo de 3 estacas

Examinemos, agora, a figura 2. Na parte esquerda está representada uma estaca isolada. Pode ser uma estaca de ensaio destinada a fundar uma obra cujos pontos de apoio estejam afastados uns dos outros; vê-se que o assentamento desta estaca será pequeno, porque ela está ancorada numa camada praticamente incompressível (areia e saibro) e a sua zona de influência pouco afecta a argila subjacente. Na parte direita do desenho, pelo contrário, figura uma obra importante fundada sobre numerosas estacas próximas entre si. Estas estacas comportam-se como se formassem um maciço único cuja zona de influência afecta a totalidade da camada de argila. Se esta argila não estiver consolidada, arrisca-se que o assentamento da edificação seja importante. Este exemplo mostra bem que se, para estacas isoladas pouco carregadas, se pode limitar, em bom rigor, o reconhecimento a sondagens até aos horizontes superiores da argila (na condição de que a espessura da camada de areia e saibros seja suficiente), pelo contrário, no caso de cargas importantes e aproximadas entre si, é indispensável efectuarem-se em simultâneo sondagens profundas e retiradas de amostras do terreno, a fim de se proceder a ensaios laboratoriais, cujos resultados permitam determinar a amplitude aproximada dos assentamentos.

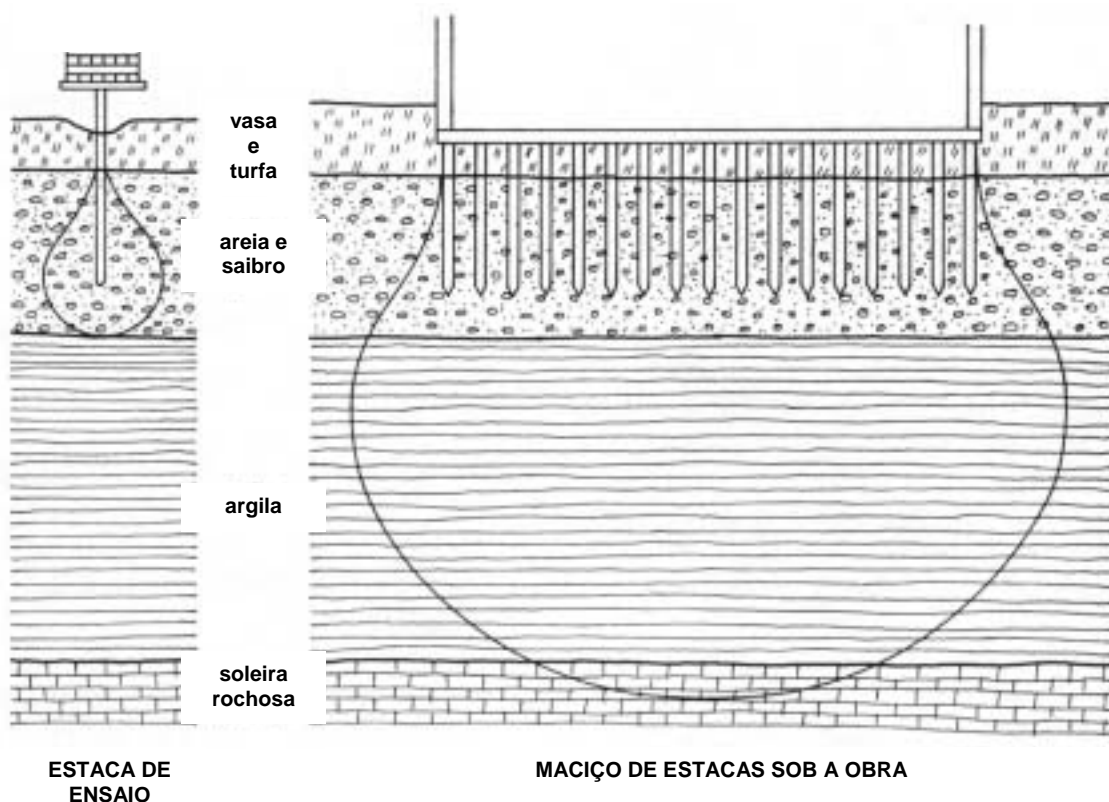


Fig. 2 – Comparação entre os bolbos de uma estaca de ensaio e de um grupo de estacas sob a obra

Não é possível, no quadro deste artigo, passar em revista todos os modos de reconhecimento do solo porque as investigações, a levar a efeito, diferem segundo a natureza do terreno encontrado. É necessário, portanto, que os donos de obra e os construtores se decidam, desde a fase de estudo prévio, a consultar um especialista conhecedor em simultâneo dos problemas das fundações e dos da estrutura. Este técnico irá aconselhá-los sobre o género e a extensão das investigações a prever, em função da natureza da construção e do terreno sobre o qual esta irá ser fundada.

Foi à falta de reconhecimento prévio que se podem atribuir as desordens que afectaram, há cerca de 20 anos, os silos de uma cooperativa agrícola no Norte de França. Esta obra está representada na figura 3. É constituída por um grupo de seis células hexagonais agrupadas, cuja cobertura se encontra a 35 m acima do solo. Cada célula era suportada por um grupo de quatro estacas de 6 a 6,5 m de comprimento. Teria sido mais judicioso distribuir-se as estacas em cada base : o conjunto teria oferecido uma melhor resistência ao vento e a

transmissão dos esforços teria sido facilitada. Pelo contrário, estacas afastadas de 2 metros entre si teriam exercido sobre a camada de saibros um efeito menos nocivo que 4 estacas agrupadas. Seja como for, este erro de concepção veio juntar-se a outro bastante mais grave cujas consequências não tardaram em manifestar-se. Com efeito, alguns dias após o primeiro enchimento, os silos sofreram um assentamento que lhes provocou um desaprumo de 27 cm. A obra foi aliviada à medida que foram sendo executadas sondagens (mais vale tarde que nunca). Estas mostraram que o banco de saibros que servia de base às estacas era de fraca espessura e se sobrepunha a uma vasa mole, de espessura variável sob a qual se encontrava, a uma profundidade média de 17 m, uma soleira calcária compacta.

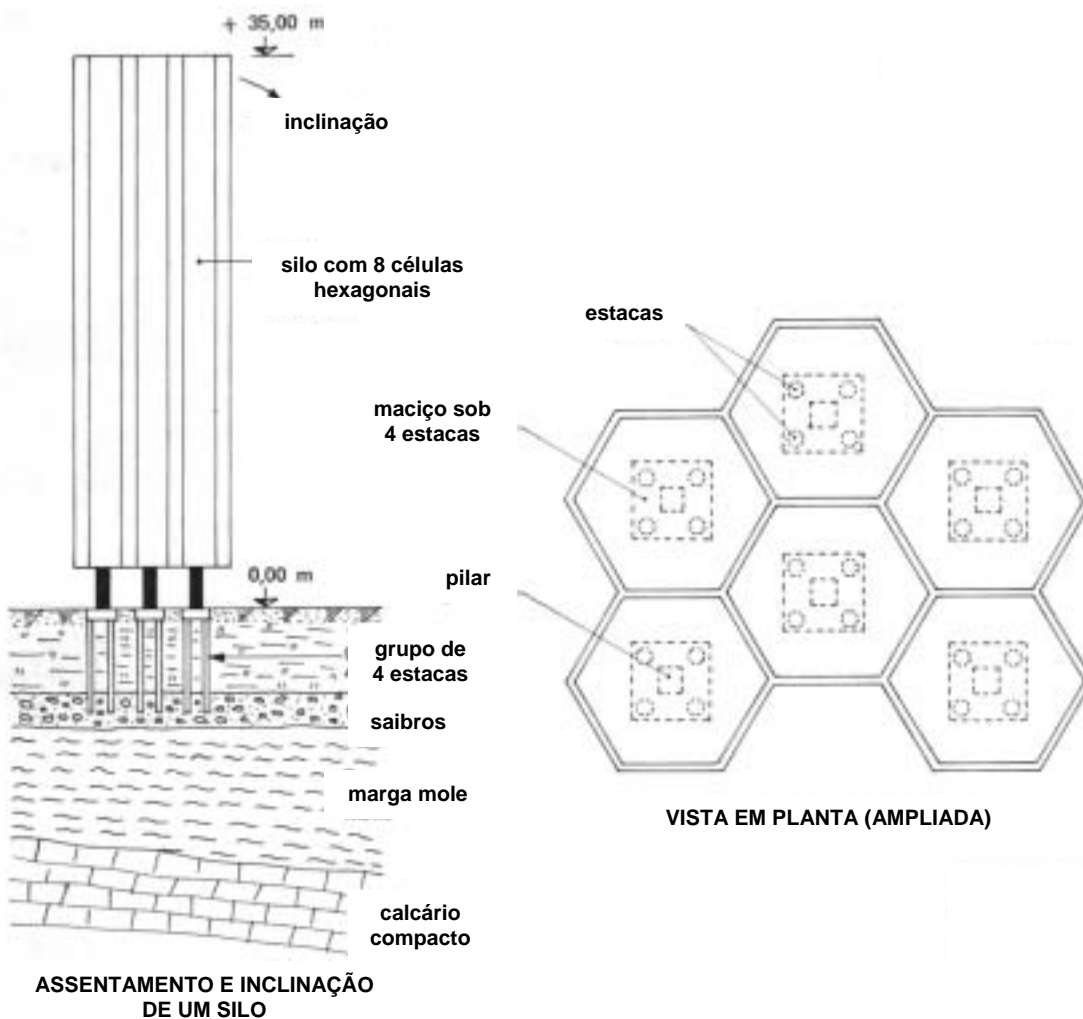


Fig. 3 – Inclinação de um silo de células hexagonais

Os trabalhos de reforço foram onerosos e delicados, pois consistiram em executarem-se 24 novas estacas, levadas, desta vez, até ao calcário, e repor a obra, por meio de macacos na sua verticalidade primitiva.

Assinalemos, para terminar, **que é oportuno efectuarem-se sondagens na vizinhança, mas fora do perímetro das fundações, e que é necessário aterrar os furos de todas as sondagens.**

B . Modo de fundação inadaptado ao terreno

A ausência de reconhecimento pode conduzir, acabamos de ver, a deterem-se as fundações a uma profundidade insuficiente. Mas pode também levar a prever-se um modo de fundação que a própria natureza do terreno torne aleatório ou irrealizável. É certo que isto não conduz, na maior parte dos casos, a um sinistro, mas a modificação, no decurso dos trabalhos, do projecto inicial conduz a despesas desproporcionadas com o que teria custado um estudo preliminar ao terreno. Diversos casos podem suceder :

- Pode-se encontrar, a fraca profundidade, uma camada de terreno pouco espessa mas tão compacta que não possa ser atravessada (se se tratar de estacas com camisa metálica cravada), ou que as estacas se partam durante a cravação (se se tratar de estacas pré-fabricadas). É necessário modificarem-se as implantações dos pontos de apoio, senão for mesmo deslocar-se a edificação : arrisca-se de se sentirem efeitos no custo dos trabalhos e em atrasos. Um estudo prévio teria permitido prever-se, neste caso, estacas perfuradas, mais caras à partida, é certo, mas finalmente menos custosas quando se fizer o balanço global da operação.
- Circunstâncias análogas podem ocorrer quando o terreno comportar blocos duros de dimensão importante dispersos dentro de uma formação relativamente mole; se, à partida, forem adoptadas estacas cravadas ou estacas com camisa metálica cravada, arrisca-se a serem produzidos desaprumos ou mesmo roturas. Foi o que aconteceu há cerca de 7 anos num certo estaleiro na região da Aquitânia. O terreno era constituído por blocos de calcário englobados em vasa, nos seus primeiros quatro metros. Por baixo, encontrava-se calcário em estratos regulares. Foi decidido fundar a edificação (uma torre de 13 níveis) sobre estacas cravadas ancoradas no calcário. Infelizmente, a presença dos blocos irregulares conduziu a numerosos defeitos de execução, dos quais os mais numerosos consistiram em importantes desaprumos das estacas. É o que ilustra a figura 4, que mostra uma estaca desguarnecida. Frente à amplitude das más execuções, foi necessário mudar o local da edificação e fundá-la sobre estacas perfuradas. Tratou-se de defeitos de execução tornados inevitáveis em consequência de um erro de concepção.

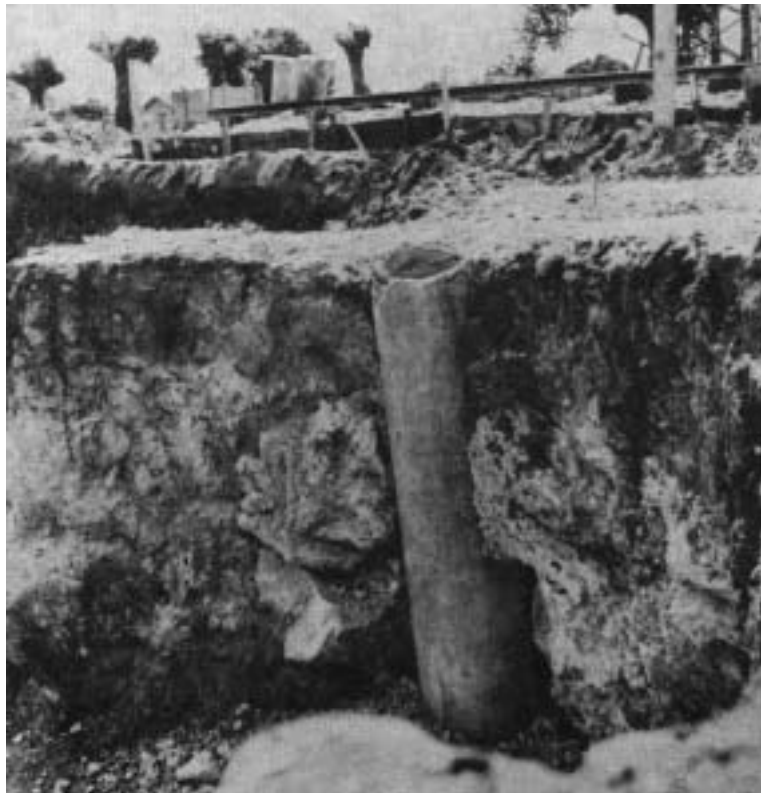


Fig. 4 – Desaprumo de uma estaca

III . MÁ INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DAS SONDAGENS OU DOS ENSAIOS. DESCONHECIMENTO DAS PROPRIEDADES DOS TERRENOS

Não chega efectuarem-se sondagens ou ensaios (*in situ* ou em laboratório); falta ainda saber interpretá-los, o que é a arte do engenheiro interveniente : seja qual for o progresso da técnica, a máquina nunca substituirá o homem neste domínio, porque nenhum terreno é perfeitamente homogéneo e nenhum é idêntico a outro. A maior parte dos mal entendidos, devidos a uma má interpretação de resultados, provém do facto que algumas pessoas pensam que os solos podem ser «colocados em equação» e que se pode, em todos os casos, fazer fé cegamente nos resultados dos cálculos.

Vamos examinar dois exemplos de interpretação incorrecta de resultados experimentais.

A . Efeito de grupo de um maciço de estacas

Voltemos ao exemplo da figura 2 : querer-se, a partir de um ensaio de carga sobre estaca isolada, deduzir a capacidade de carga e os assentamentos de um maciço de estacas agrupadas, é aleatório, pelas duas seguintes razões :

- o Por um lado, um grupo de estacas solicita uma espessura de terreno tanto mais importante quanto este grupo é volumoso; o assentamento de um tal grupo não é, portanto, comparável ao de uma estaca isolada. Já o dissemos previamente e a figura 2 é suficientemente explícita.
- o Por outro lado, a capacidade de carga de uma estaca é a soma de duas parcelas : o efeito de ponta e o atrito lateral. No que respeita a esta segunda parcela, a capacidade consequente do atrito só pode ser mobilizada se as estacas não estiverem demasiadamente próximas, senão é necessário substituir-se a soma dos perímetros de cada estaca pelo perímetro de uma estaca fictícia que tenha por contorno a linha envolvente das estaca exteriores do maciço (TERZAGHI). Em todo o caso, a maioria dos cravadores indicam como distância mínima entre eixos de duas estacas vizinhas um valor igual a duas vezes e meia o diâmetro de cada estaca. Descer abaixo deste valor pode conduzir a cálculos demasiadamente optimistas, o que tem por efeito uma diminuição do coeficiente de segurança. Examinaremos, adiante, um sinistro em que uma das causas foi a excessiva proximidade de estacas perfuradas.

B . ERROS NA INTERPRETAÇÃO DAS CRAVAÇÕES

A cravação de estacas em certos solos pode dar lugar, logo que esses solos estejam abaixo do lençol freático, a rejeitos enganadores devido ao desenvolvimento de pressões intersticiais, que se opõem à penetração da estaca. Frequentemente, mais que uma estaca, cuja capacidade de carga parecia suficiente, fazendo fé na fórmula da cravação, vem a apresentar assentamentos excessivos sob a carga de serviço, essencialmente estática. Alguns cravadores de estacas, sabendo que a aplicação estrita da fórmula dinâmica conduz a rejeitos demasiado importantes, procedem a uma sobre cravação, o que tem por resultado aumentar os assentamentos posteriores, porque quanto mais violenta for a cravação, mais se estende ao redor da estaca a zona perturbada. Em terrenos como os descritos atrás, a única solução válida consiste em executarem-se estacas perfuradas, cuja capacidade de carga é determinada a partir das características do solo.

Se a utilização de fórmulas de cravação inadaptadas pode conduzir a desordens importantes em certos terrenos, é curioso constatar que, noutros, a aplicação das mesmas

fórmulas pode conduzir a uma segurança superabundante : com efeito, em terrenos tixotrópicos, a cravação provoca, ao redor da estaca ou da camisa, um amolecimento momentâneo, que desaparece progressivamente, mas que origina, à partida, atribuir-se a uma estaca uma capacidade de carga bastante inferior à que ela tem na realidade. Podemos realmente aperceber disso, anotando os rejeitos nos últimos ciclos de cravação, parando esta e retomando-a 15 dias mais tarde : os novos rejeitos observados durante as primeiras pancadas são bastante mais fracos que os precedentes. Este fenómeno produz-se em diversos crés. E é bem conhecido de alguns cravadores de estacas.

Em solos coerentes, as fórmulas de cravação não são válidas. Então, de uma maneira geral, **para se determinar a capacidade de carga das estacas, não podemos ter uma confiança cega em nenhum método considerado isoladamente.**

C . Atrito negativo. Papel nefasto dos aterros. Impulsos laterais

- Um erro muito frequentemente cometido consiste em esquecer o papel nefasto que podem ter os aterros sobre as fundações profundas. Vamos explica-lo, com o auxílio de dois esquemas e depois examinaremos alguns exemplos, escolhidos entre os mais típicos.

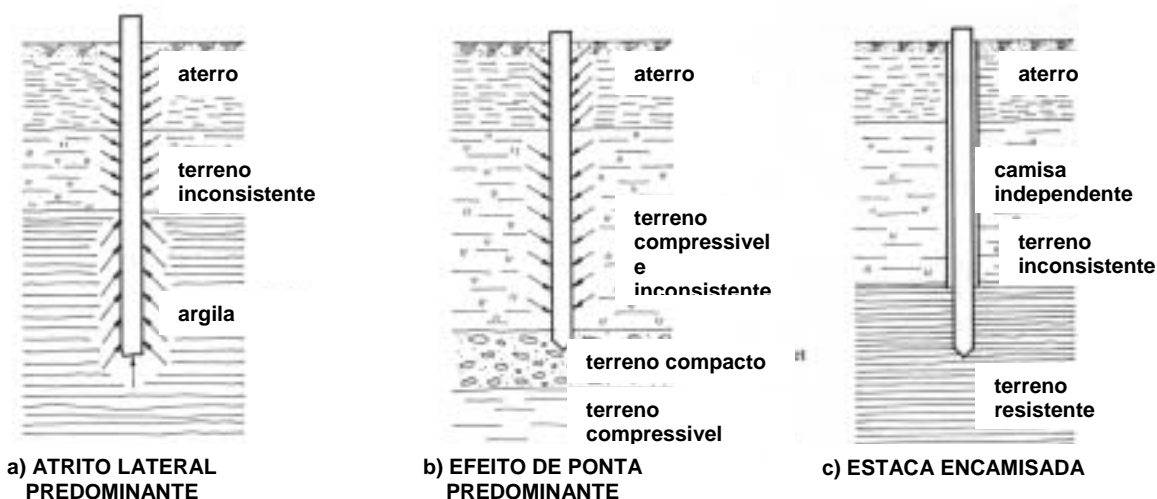


Fig. 5 – Atrito negativo : estacas flutuantes, estacas encamisadas

Consideremos, para já, a figura 5 : na parte média (5 b) está representada uma estaca apoiada, passando através de um terreno inconsistente, numa camada resistente, sendo obtida a capacidade de carga dessa estaca sobretudo por efeito de ponta. Se colocarmos, por cima do terreno superficial compressível, um aterro de grande espessura (e sobretudo se este aterro receber uma carga importante), o assentamento próprio do aterro e o da camada mole não consolidada provocam, ao longo do fuste da estaca, esforços de atrito cuja resultante tem uma componente vertical dirigida para baixo. É o que se chama de «atrito negativo», ao qual se soma ainda a carga transmitida à estaca pela edificação a fundar.

Sempre que a camada de terreno, na qual está ancorada a estaca, seja suficientemente compacta e espessa, o atrito negativo só tem, na maior parte do tempo, como consequência, uma diminuição do coeficiente de segurança, sem que isso provoque, portanto, assentamentos apreciáveis. Se, pelo contrário, a camada compacta é pouco espessa e se sobrepõe a terrenos compressíveis, como é o caso da figura 5 b, o acréscimo de carga sobre as estacas, devido ao atrito negativo, junto com o peso próprio do aterro, podem provocar o afundamento do estrato resistente ou a rotura das estacas, em consequência da fluência das camadas subjacentes.

Se a estaca é flutuante (fig. 5 a), quer dizer, se a maioria da sua capacidade de carga provem do atrito lateral (caso de um terreno constituído, por exemplo, por argilas mediamente compactas), os efeitos do atrito negativo podem determinar assentamentos excessivos e uma diminuição inadmissível do coeficiente de segurança.

Se o atrito negativo é, em geral, bem conhecido, os construtores pensam muito menos nos impulsos oblíquos que são gerados pelos aterros. Examinemos, então, a figura 6. A sua parte esquerda (fig. 6 a) representa uma edificação fundada sobre estacas verticais. Se o terreno for parcialmente aterrado e, sobretudo, se o aterro deve receber uma sobrecarga importante (caso dos entrepostos ou parques, em particular) a assimetria das cargas pode provocar, nas estacas, impulsos oblíquos, cuja componente horizontal cria, nessas estacas, flexões capazes de as romper. O projectista mais consciencioso, que tiver em conta os aterros exteriores à edificação, esquece, por vezes, que no interior da própria obra, e se o nível mais baixo tiver previsto um revestimento sobre terrapleno aterrado, que se podem exercer impulsos oblíquos sobre as estacas, sob acção, apenas, da assimetria das sobrecargas no terrapleno. Foi o que aconteceu, há uma dezena de anos, nos entrepostos de um grande porto fluvial francês. Algumas estacas entraram em rotura. E a vistoria provou que a culpa cumpria, não ao construtor, mas ao dono da obra que tinha modificado a utilização do terrapleno, previsto inicialmente para sobrecargas fracas, e sobre o qual ele aplicou localmente cargas muito elevadas. Se se tratasse de um pavimento em betão armado, sem dúvida que o proprietário teria mandado verificar os cálculos do projecto, antes disso. Mas um terrapleno, pensou ele, pode aguentar com tudo. O que sucedeu prova o contrário.

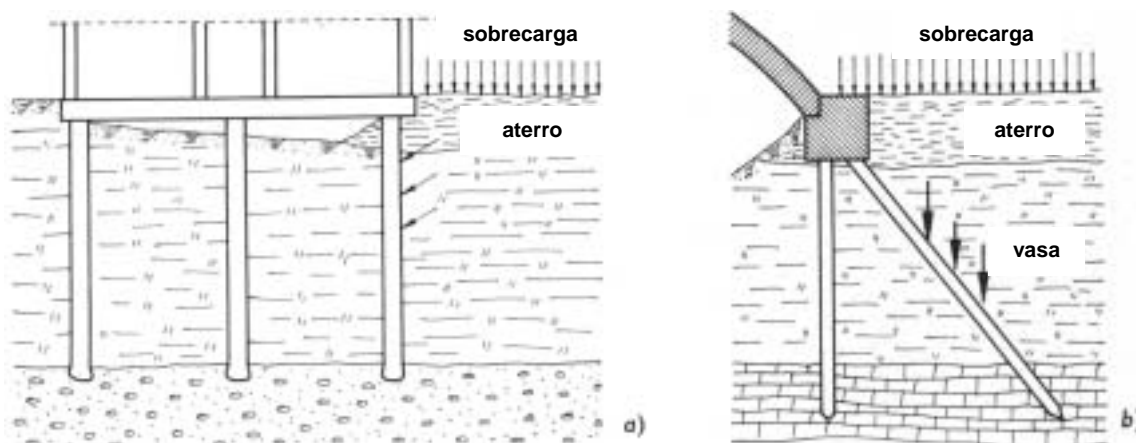


Fig. 6 – Impulsos oblíquos causados pelos aterros

Porque é que se negligencia o problema dos impulsos laterais ? É porque se produziu uma confusão no espírito dos técnicos, mesmo dos mais avisados.

Com efeito, é admitido – e os factos provam que tal se justifica – não se considerar o varejamento das estacas completamente enterradas, sendo admitido que o solo, mesmo inconsistente, oferece uma reacção suficiente para se lhe opor.

Também, algumas pessoas não exitam em concluir, por uma extrapolação inadmissível, que o terreno pode resistir aos esforços horizontais transmitidos às estacas pela obra que suportam.

Isto é frequentemente verdadeiro, mas o problema não é este : com efeito no caso atrás assinalado, não se tratou de um varejamento das estacas, devido ao facto de o impulso dos terrenos sobre os fustes ser superior à reacção dos solos envolventes, mas sim a uma deformação dessas estacas, provocada por um deslocamento lateral local do terreno.

Uma estaca é solidária, nos seus movimentos, com o solo envolvente.

Este fenómeno é benéfico no caso geral (porque se opõe ao varejamento da estaca dentro desse terreno envolvente), mas pode ser enganador no caso dos impulsos laterais, quando o solo se deforma para lá da capacidade de deformação da estaca. O exame dos dossiers está aí para o provar.

A figura 6 b mostra que os aterros podem também provocar a flexão das estacas inclinadas. Isto é tanto mais grave quanto essas estacas estão, em geral, fortemente comprimidas e que a menor deformação por flexão pode causar a sua ruína.

Acabamos de ver que os aterros podem ter vários efeitos nefastos :

- Pelo seu peso podem provocar a fluência ou a consolidação dos estratos moles situados sob a camada na qual estão ancoradas as estacas;
- Podem provocar nessas estacas atrito negativo e impulsos horizontais ou oblíquos.

D . Precauções preconizadas

Antes de passarmos aos exemplos, vamos indicar soluções para diversos problemas que a execução dos aterros põe sobre as obras na sua vizinhança, sem que esta lista seja limitativa.

Em fase de projecto, os construtores terão todo o interesse em que o dono da obra especifique, não só as espessuras dos aterros, mas também as sobrecargas máximas sobre os terraplenos; os esforços consequentes do atrito negativo serão calculados segundo as fórmulas clássicas; evidentemente que serão, depois, tomados em consideração para se calcular a capacidade de carga das estacas.

Quanto ao **tipo de estaca** a prever em terrenos susceptíveis de originarem atritos negativos, haverá todo o interesse em se escolher estacas o mais lisas possível, pelo menos na parte «assentável» do terreno; a este respeito, as estacas pré-fabricadas são preferíveis às estacas moldadas no solo : estas últimas, com efeito, apresentam sempre asperosidades, ou seja irregularidades. Alguns autores preconizam igualmente prever-se estacas com camisas independentes do fuste (fig. 5 c) : é nesta camisa, limitada à camada perigosa do terreno, que se exercem os efeitos do atrito negativo. Esta camisa pode ser em aço ou em betão; deve ser lubrificada interiormente.

Quanto aos impulsos oblíquos sobre as estacas, é difícil quantificá-los. É por isso que, quando são susceptíveis de se produzirem, uma boa precaução consistirá em preverem-se estacas ou poços de grande secção, fortemente armados. Se os riscos forem importantes (aterros de grande espessura, sobrecargas muito fortes), convirá fazer-se um estudo especial e tomarem-se, nesse caso, as precauções consequentes (obras de suporte de terras, tirantes de ancoragem, etc...).

E . Exemplos

Para ilustrar esta categoria de sinistros, vamos agora dar alguns exemplos :

Primeiro exemplo : Respeita a desordens que afectaram, há uma dezena de anos, um dos pavilhões de uma fábrica situada na região parisiense, nas margens imediatas do Sena. Tratava-se de uma edificação que tinha as dimensões totais de 122,00 x 231,80 m (fig. 7) abrangendo, sob uma mesma cobertura suportada por asnas metálicas :

- Uma parte usada como escritórios (não representada na figura);
- Uma nave de prensas de cravação, servida por seis pontes rolantes : 2 de 50 t e 4 de 30 t;
- Enfim, um parque de chapas, servido por duas pontes rolantes de 30 t circulando sobre a mesma via. Um corte transversal deste parque de chapas está representado na figura 9.

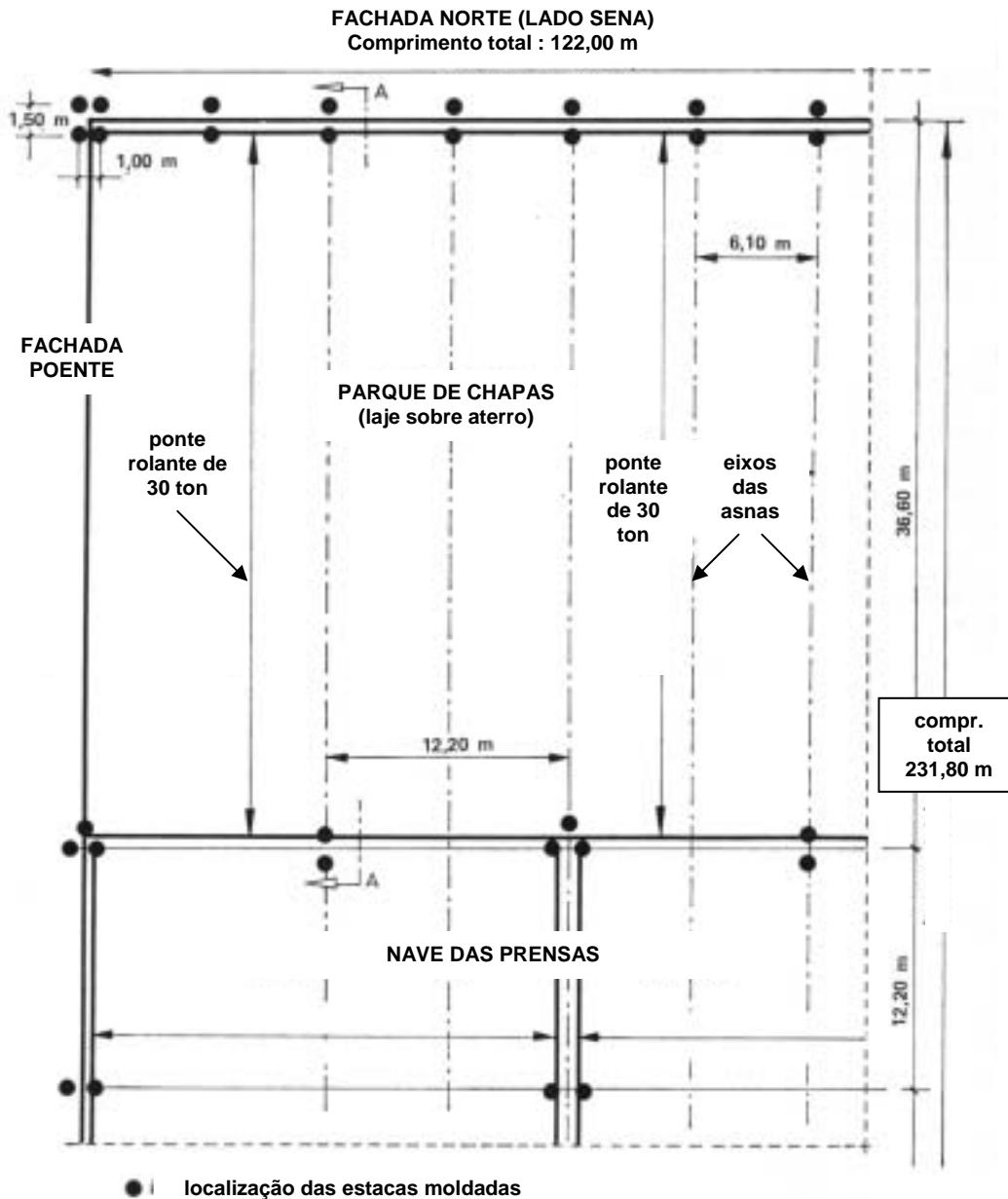


Fig. 7 – Planta esquemática parcial da oficina

O terreno, como o mostra o corte geológico **simplificado** da figura 8, era constituído à superfície por uma camada de aterros recentes de espessura variável, compreendida entre 3 e 5 metros, e destinado a criar uma plataforma contra as inundações. Estes aterros sobrepunham-se a um estrato com cerca de 20 m de espessura, formado por aluviões modernos (areia, limo e argila) com uma nítida predominância da argila. Por baixo surgia uma camada com 5 m de espessura média de margas resultantes da decomposição da soleira calcária, a qual era atingida a uma profundidade de 26 a 29 m.

Fig. 8 – Corte do terreno

Foi decidido que a estrutura da fábrica, constituída por pilares e asnas metálicas, repousaria sobre sapatas de betão armado, fundadas, segundo as cargas, em grupos de 2, 3 ou 4 poços (fig. 7 e 9). A escolha centrou-se em poços perfurados, de 89 cm de diâmetro, ancorados nos aluviões e levados a profundidades variando entre 6 m, para os poços portantes de 60 t, a 10 m para os poços portantes de 180 t. Estes poços eram, portanto, flutuantes, o que quer dizer que a maior parte da sua capacidade de carga provinha do atrito lateral.

Desde a colocação em serviço da fábrica que os poços começaram a se afundar. Os assentamentos mais importantes (até 8 cm) afectaram a parte da edificação situada ao longo do Sena, ou seja o parque de chapas. Estes assentamentos eram, em certos casos, acompanhados de inclinações das estacas, cujos desaprumos atingiram vários centímetros. Os pontos de apoio da nave das prensas sofreram, eles também, abatimentos cuja amplitude ia crescendo à medida que se aproximavam do parque das chapas.

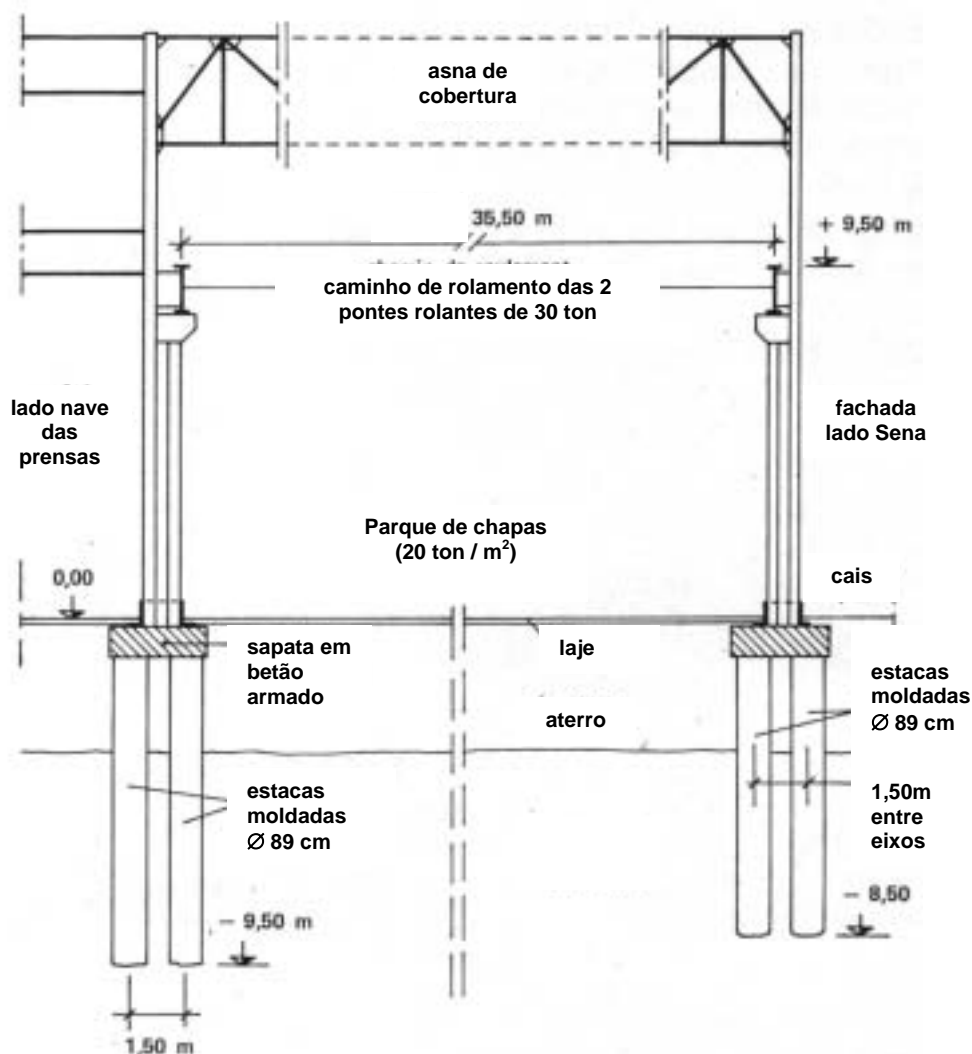
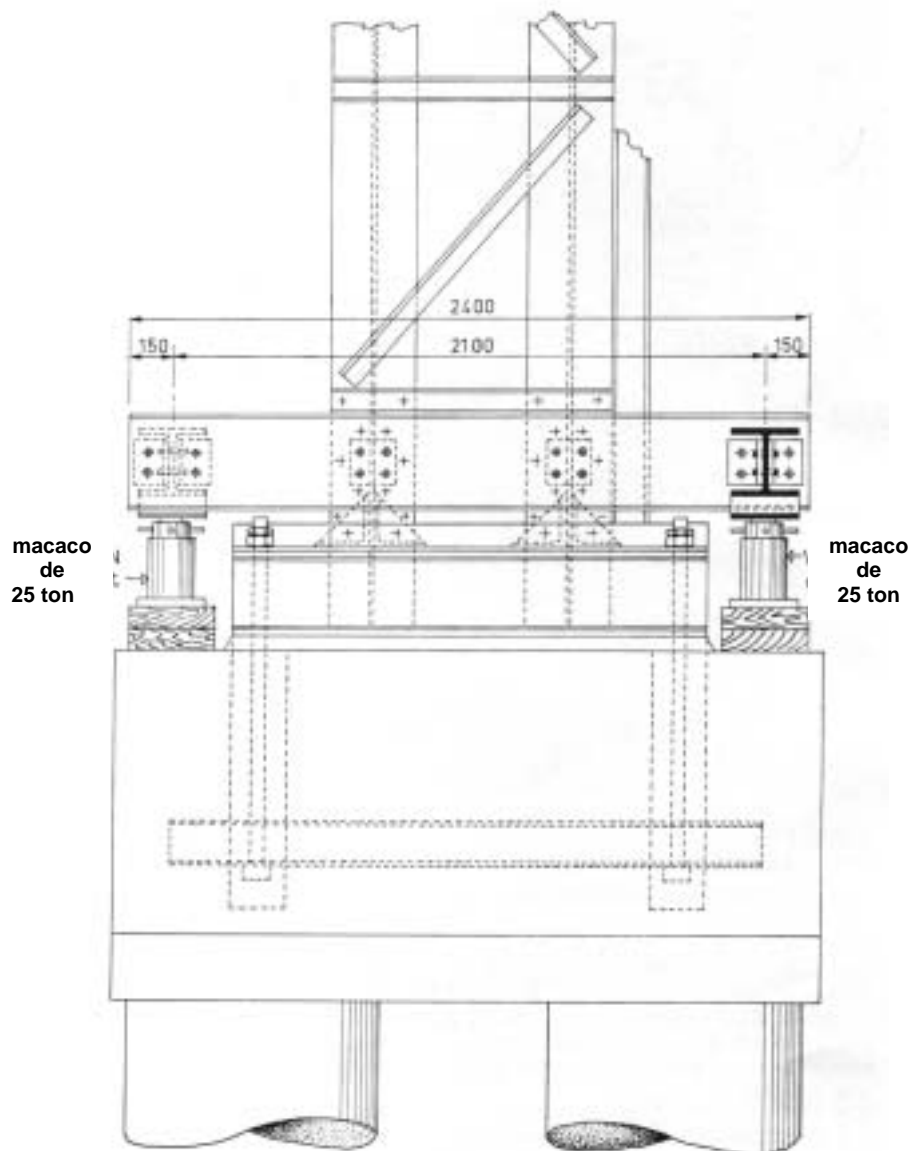


Fig. 9 – Corte transversal A – A'

É verdade que, os pilares da estrutura metálica estavam suficientemente afastados e que a própria estrutura era suficientemente deformável para poder suportar sem danos assentamentos diferenciais de alguma importância. Não se passava o mesmo, infelizmente, com as pontes rolantes, cujos caminhos de rolamento necessitavam de um paralelismo rigoroso. Em consequência, as pontes arrancavam muito dificilmente, e o serviço de conservação da fábrica tinha que proceder periodicamente ao alinhamento e ao nivelamento dos seus carris. Como estas operações não podiam continuar indefinidamente, sem se por em risco a estabilidade das pontes rolantes, convinha tomarem-se medidas rápidas. Foi então designado um perito pelo tribunal.



**Fig. 10 –
Nivelamento
dos pilares
por meio de
macacos**

Do estudo do projecto, podiam-se destacar um certo número de erros :

- O tipo de fundação por poços flutuantes, não levados até ao calcário, implicava necessariamente assentamentos cujas amplitudes não eram compatíveis com as tolerâncias admissíveis para o bom funcionamento das pontes rolantes;
- Os poços perfurados, de 89 cm de diâmetro, estavam situados a distâncias entre eixos de 1,5 m nos grupos de 2; esta distância descia a 1 m para os grupos de 4. Estes valores eram nitidamente insuficientes para permitirem mobilizar a totalidade do atrito lateral;
- A sobrecarga muito importante das chapas sobre o aterro provocava nos poços um atrito negativo considerável, que não tinha sido considerado, e que só podia acentuar os

- assentamentos; ao mesmo tempo, os impulsos laterais, consequentes das sobrecargas assimétricas, provocavam a inclinação de alguns poços;
- Por fim, os esforços dinâmicos e alternados, aplicados aos poços pelas travagens das pontes rolantes faziam, em certos casos, variar a carga nestes poços de um valor praticamente nulo até cerca do dobro da sua carga nominal; não tinha sido previsto nenhum dispositivo para lidar com este caso.

Foram encaradas diversas soluções de reforço : umas (recalçamentos por meio de sapatas armadas fundadas nos aluviões) foram rejeitadas porque os assentamentos previsíveis eram incompatíveis com o bom funcionamento das pontes; outras, que davam todas as garantias do ponto de vista da segurança (recalçamentos por meio de poços com cerca de 30 m ancorados no calcário) foram abandonados por causa do seu custo e sobretudo pela impossibilidade de as executar sem interromper o funcionamento da oficina. Finalmente, foi decidido colocarem-se definitivamente macacos sob os pés dos pilares, permitindo proceder-se periodicamente, se se fizesse sentir a necessidade, ao nivelamento das pontes rolantes (fig. 10). Esta solução foi objecto de um artigo no n.º 127 de Fevereiro de 1964 da revista «BATIR» (o citado esquema 10 foi extraído deste artigo).

Segundo exemplo (fig. 11).

Excepcionalmente, este sinistro não foi retirado dos nossos dossiers de patologias; fomos encontrá-lo numa excelente obra, em língua inglesa, de Robert D. CHELLIS, intitulado «Pile Foundations», Mac Graw-Hill Book Company, 330 West 42 nd Street – NEW YORK – N.Y. 10036. Citamos este caso, por um lado em consequência do seu interesse patológico e, por outro, porque mostra igualmente que em países fortemente industrializados como os Estados Unidos, estes erros também podem ser cometidos.

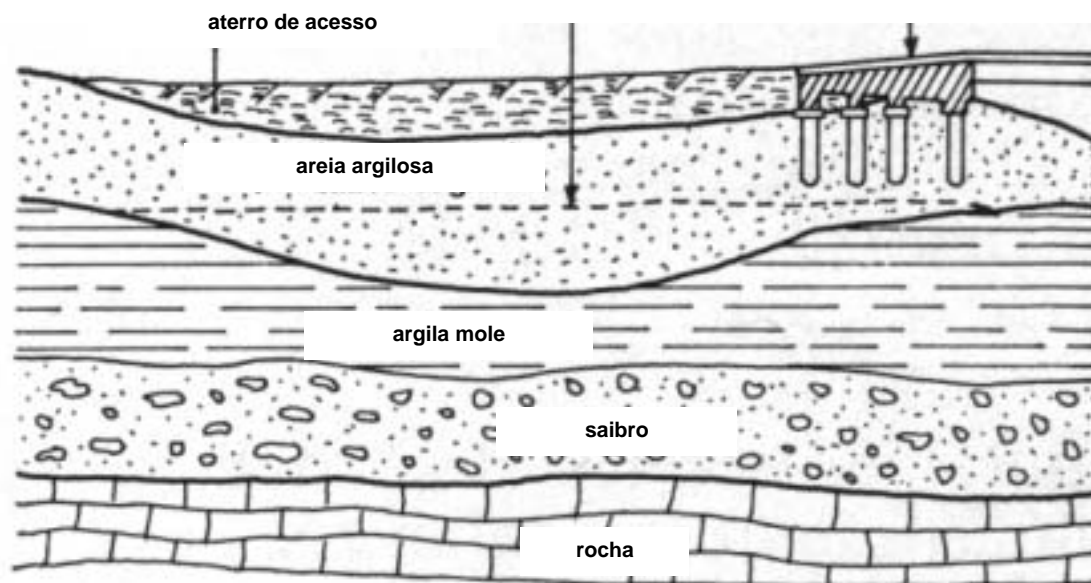


Fig. 11 – Ponte da Rua 14 em Washington

O sinistro citado por Chellis afectou a ponte da 14ª Rua em Washington. Como mostra a figura 11, um dos encontros estava fundado em 40 estacas flutuantes de 12 m de comprimento ancoradas numa camada de areia argilosa sobreposta a uma argila mole. Após a conclusão do encontro, o aterro de acesso, com 5 m de espessura, foi executado. Sob o peso do aterro, a argila subjacente começou a flutuar, interessando a camada de areia na qual estavam ancoradas as estacas. O encontro basculou para trás, em consequência. E assentou um total de 60 cm do lado do rio e de 25 cm do lado da margem. Chellis não indica os custos dos trabalhos de reforço, mas é certo que este sobrecusto teria sido evitado se os aterros tivessem sido colocados bastante tempo após a cravação das estacas.

Terceiro exemplo.

Este sinistro aconteceu há dez anos, nos confins do Maciço Central. Afectou tão profundamente um armazém de adubos que o custo dos reforços se elevou aos 50 milhões de francos antigos. A edificação em questão está representado na figura 12. As suas dimensões são de 120 x 30 m. Destina-se a abrigar reservas de adubos em pó (nitrato de amónio envolvido em pó de calvário). As suas paredes exteriores, calculadas para resistirem ao impulso dos adubos a em 8 m de altura, são constituídas por abóbadas finas de geratrizes verticais, apoiadas em contrafortes de betão armado. Vêem-se nitidamente na figura 13. A edificação está coberta por uma abóbada nervurada com 30 m de vão, também em betão armado. O pavimento interior é constituído por uma laje repousando sobre uma camada de aterro com 4 m de espessura (fig. 14) sobreposta a uma camada de 80 cm de terra vegetal (que não foi retirada) e a aluviões areno-argilosos. Encontrou-se xisto compacto cerca dos 7 m.

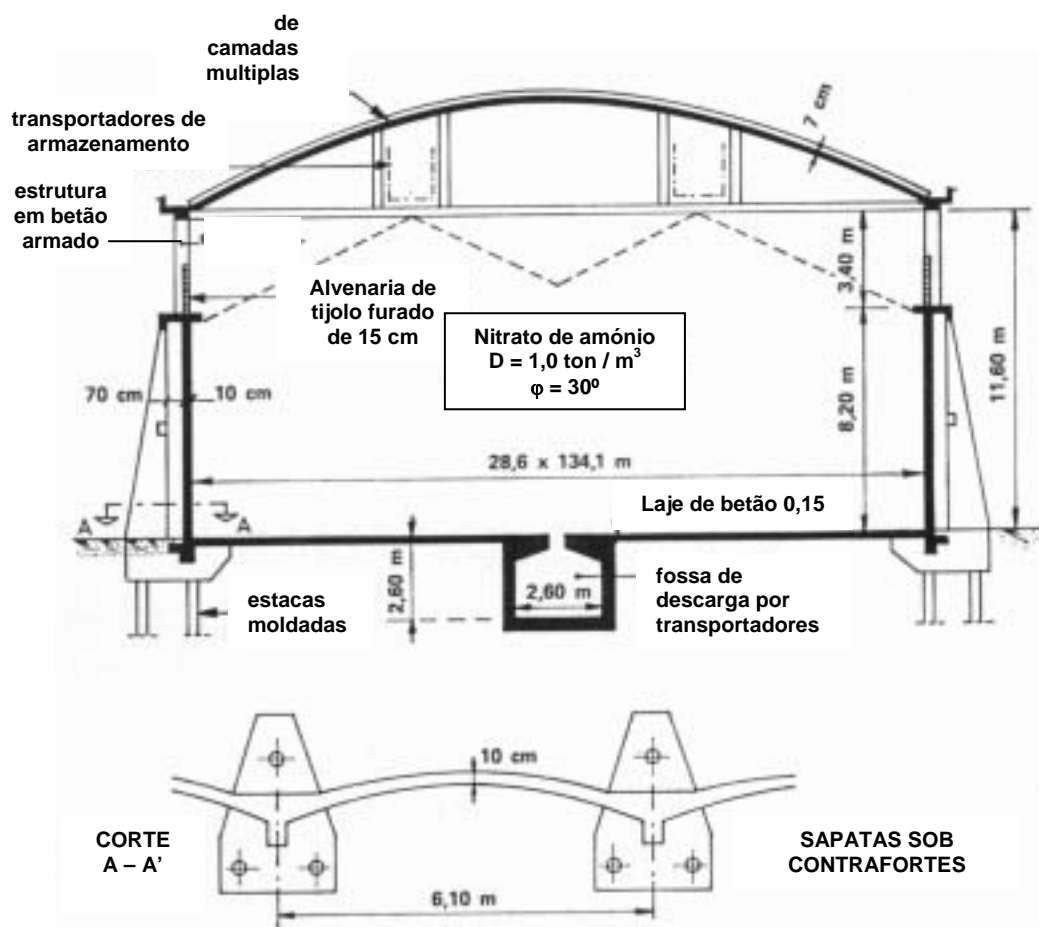


Fig. 12 – Armazém de adubos : corte transversal

A laje e as paredes interiores estão revestidos com asfalto a fim de resistirem à acção corrosiva do adubo.

As fundações da edificação propriamente dita são constituídas por estacas perfuradas ancoradas no xisto, à razão de três estacas por contraforte (2 do lado exterior e 1 do lado interior).

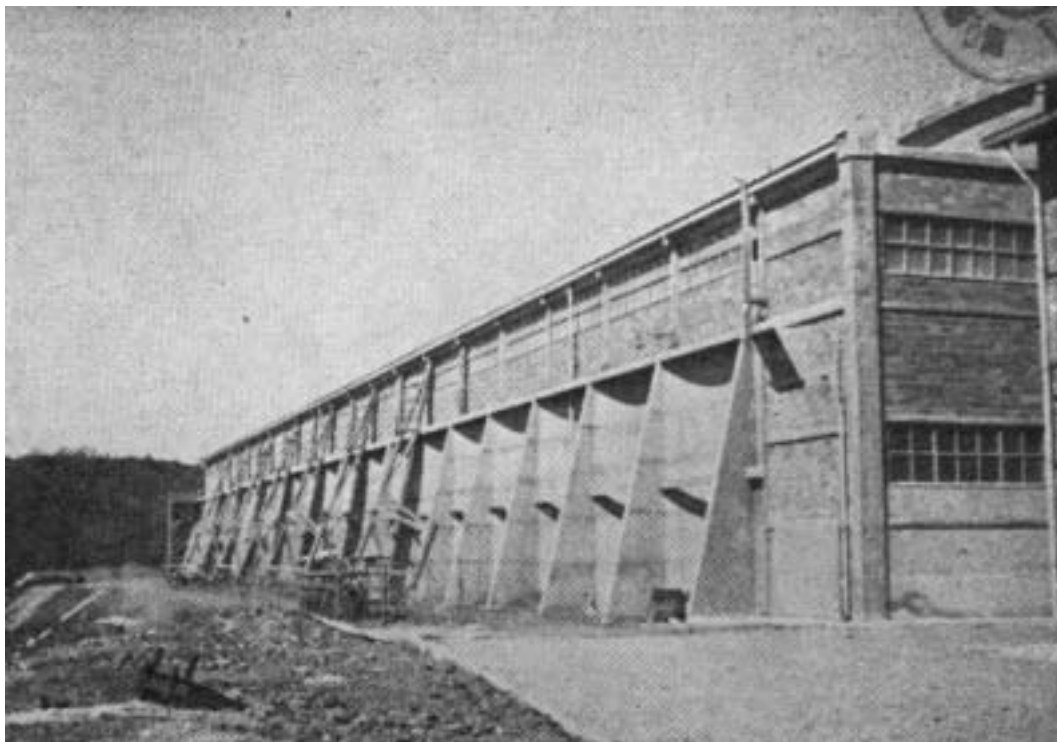


Fig. 13 – Armazém de adubos : vista dos contrafortes

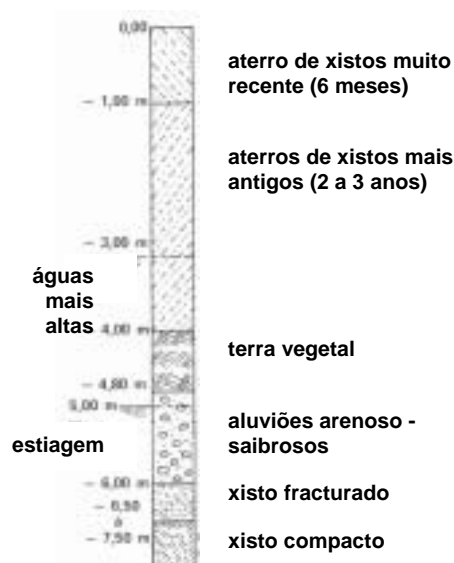
Fig. 14 – Corte do terreno

Considerando o impulso do adubo sobre os contrafortes e o momento de derrubamento dele resultante, o gabinete de projectos tinha calculado que a estaca interior não só estaria descarregada, como também traccionada. É por isso que a sapata de assentamento do contraforte sobre as três estacas foi prolongada por um bico para o interior do edifício, por forma a que fosse carregada pelo peso do adubo situado sobre ela.

Pouco tempo depois do armazenamento de um primeiro stock de adubo ao longo da fachada norte, a parede da fachada carregada inclinou-se **para o interior**, tomando uma inclinação de cerca de 15 cm. O esquema do edifício deformado está representado na figura 15. A abóbada, que repousava sobre os contrafortes por intermédio de pilaretes em betão armado, só parcialmente acompanhou o movimento, porque estava ligada aos contrafortes da outra fachada. Os pilaretes foram assim solicitados por importantes esforços de flexão composta : apareceram fissuras, que atingiam por vezes 5 cm, nalguns deles. Foi necessário escorar com urgência a abóbada (fig. 16).

Este sinistro deveu-se essencialmente a duas causas :

- A carga do adubo, que atingia em média 10 t/m^2 , descarregava directamente sobre o aterro. As pressões desenvolvidas neste último provocaram, por atrito negativo, um acréscimo de carga nas estacas exteriores, ao mesmo tempo que um impulso horizontal;
-



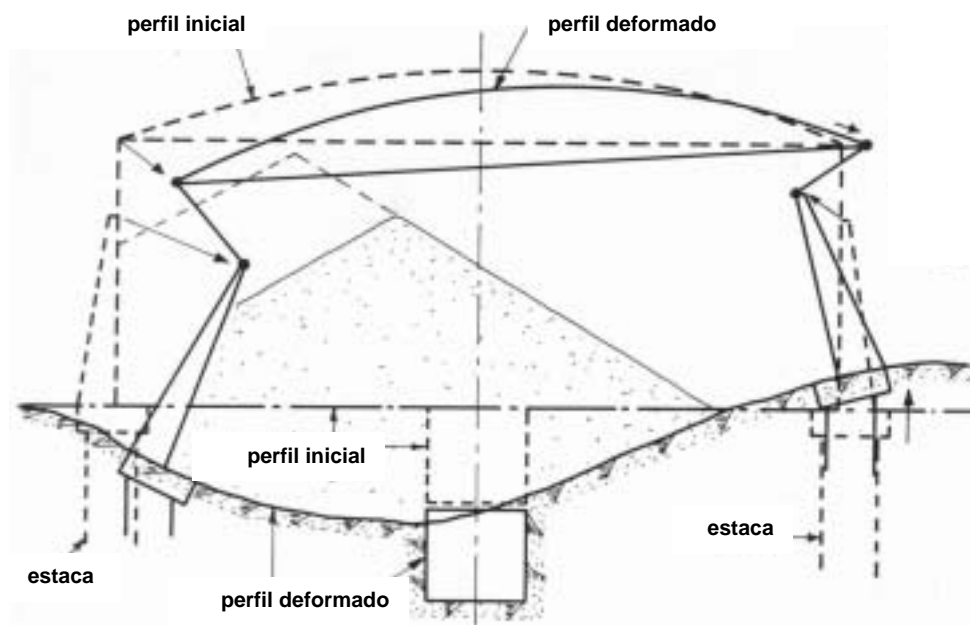
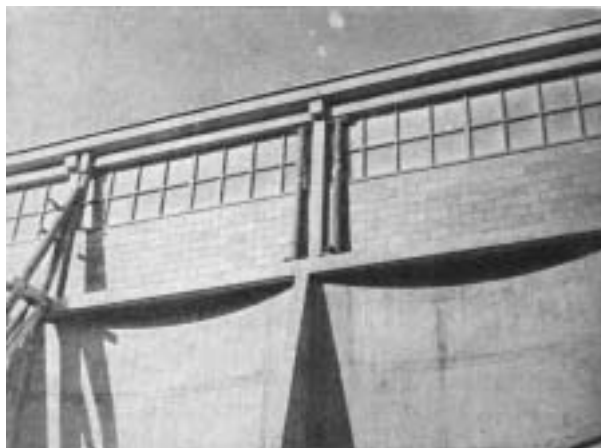


Fig. 15 – Armazem de adubos : esquema das deformações

- As fundações dos contrafortes tinham sido calculadas unicamente na hipótese de que o adubo exerceria sobre elas o impulso máximo. Ora o nitrato de amónio é higroscópico e, ao fim de cerca de uma semana de armazenamento, ele formou presa (fig. 17). Nestas condições, o impulso ficou completamente anulado, tal como o efeito de tracção sobre as estacas interiores. Pelo contrário a sobrecarga do adubo situado sobre o bico interior da sapata continuava a exercer-se, mesmo na ausência do impulso. A carga sobre as estacas interiores ficou assim aumentada para o dobro.

**Fig. 16 – Armazém de adubos :
escoramento da abóbada**

O somatório destas causas (atrito negativo, impulso horizontal, erro nas hipóteses de cálculo) provocou a rotura nas estacas interiores, fazendo a parede de fachada inclinar-se sobre o adubo. Uma sondagem permitiu verificar a rotura de uma estaca por compressão à profundidade de 2 m abaixo da sapata.



Os trabalhos de reparação, que só podiam ser feitos pelo exterior (a fim de não danificar o revestimento asfáltico interior e de não interromper a utilização do armazém), consistiram em recalçar as sapatas dos contrafortes por meio de maciços em betão, que substituíram as estacas, fundados sobre os aluviões areno-sabrosos.

Fig. 17 – Armazém de adubos : adubos consolidados em massa

Quarto exemplo.

Guardamos para o fim deste capítulo um exemplo particularmente típico de assentamento de estacas sob a acção conjugada dos aterros e da superestrutura : trata-se da estação transatlântica do Havre. Foi, relembra-se, durante os trabalhos de consolidação das suas fundações que o Sr. Freyssinet realizou uma das primeiras importantes aplicações do pré-esforço. Foi igualmente nesta obra que a técnica do aquecimento do betão, para acelerar a sua presa, foi utilizada por uma das primeiras vezes. Numerosos livros e revistas, na época (1935 – 1936), relataram os factos, mas como este exemplo é muito característico, sob o duplo ponto de vista do erro de concepção e da elegância da solução do reforço, vamos dar dele uma descrição sucinta :

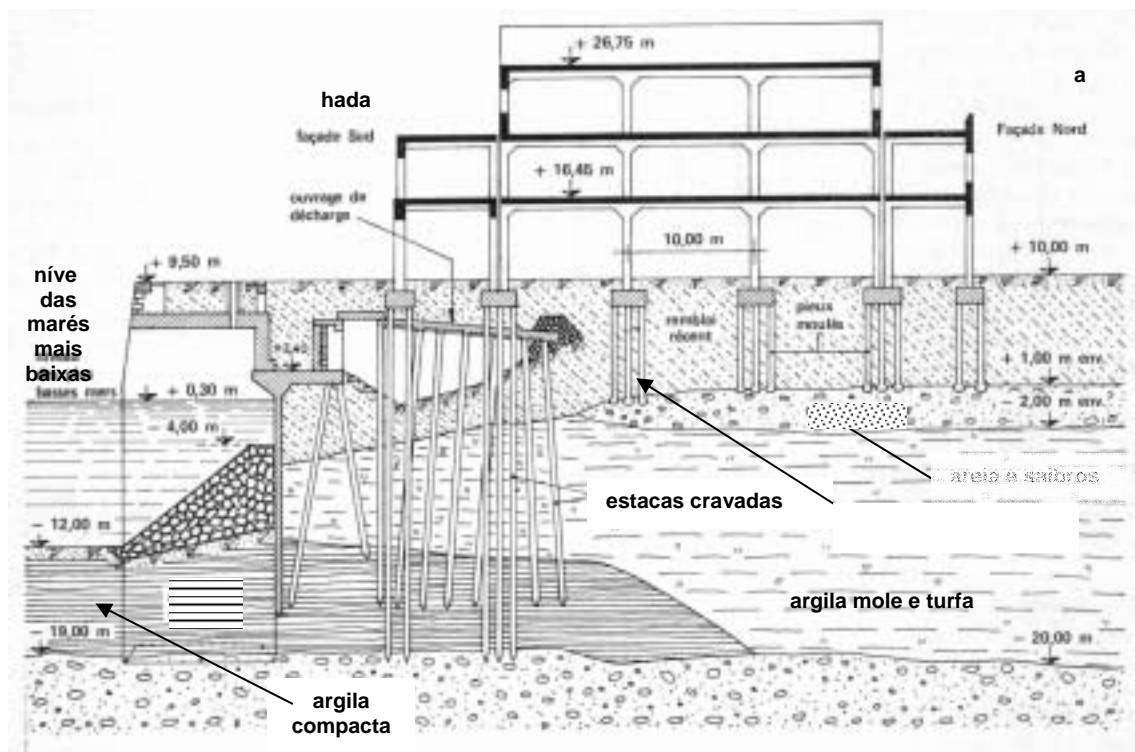


Fig. 18 – Estação Marítima : corte transversal

A estação marítima, lembremos para começar, era um importante edifício com 46 m de largura por 575 m de comprimento, constituído por pórticos em betão armado, com dois pisos junto às fachadas e três pisos no corpo central (fig. 18).

A construção da nova estação marítima foi feita à beira do cais Johannès Couvert, obra em caixões terminada em 1920 e fundada à cota – 20,00 numa camada de saibros com cerca de 10 m de espessura. As terras entre os caixões eram retidas por um dispositivo de suporte.

Antes da construção da estação, foi decidido dragar-se a Doca de Maré até à cota – 12,00, por forma a permitir a acostagem dos grandes paquetes transatlânticos, e aterrar os terraplenos. Durante as dragagens, o muro cais cedeu sob o impulso das terras, antes ainda dos aterros serem executados. Para reforçar o muro e torná-lo capaz de suportar o impulso provocado pelos aterros, construiu-se uma obra de descarga constituída por uma laje suportada por estacas ancoradas, em geral, na argila. As estacas da estação marítima, situadas na zona da obra de descarga, foram cravadas ao mesmo tempo que as desta. Entretanto, como previamente se tinha constatado que certas estacas, ancoradas na argila, continuavam a afundar-se depois da conclusão da cravação, foi decidido que as fundações da estação seriam, do lado da fachada sul, levadas até ao saibro, quer dizer até à cota – 20,00.

Antes de se iniciarem o resto das fundações da nova estação, executou-se uma sondagem no centro do edifício : esta sondagem mostrou a existência, cerca da cota + 1,00, de um banco de areia e saibro com cerca de 3,00 m de espessura (este banco não aparecia sob a fachada sul). Como parecia muita cara uma solução de estacas cravadas com 30 m de comprimento, foram feitos ensaios para se determinar se era possível ficar-se pela primeira camada de saibros. À vista dos resultados desses ensaios, pareceu que se podia fundar toda a parte do edifício que estivesse fora da obra de descarga sobre estacas curtas de base alargada, moldadas no solo. Foram então executadas 2035 estacas em três meses e meio.

Pouco tempo após a conclusão dos toscos da obra, apareceram fissuras, traduzindo um assentamento de parte das fundações. Este assentamento, após medições efectuadas, produzia-se segundo uma lei mais ou menos linear, à razão de 2 cm por mês. Era portanto urgente travar a sua progressão. Alguns escoramentos não deram qualquer resultado. Simultaneamente, foram feitas algumas pesquisas para se determinarem as causas deste assentamento. As pesquisas mostraram que se tratava, não de um punçoamento do banco de areia e saibros pelas estacas de base alargada, mas de um afundamento conjunto deste banco sob a dupla acção dos aterros recentes e do peso da edificação. As argilas moles e vasas subjacentes, com efeito, não estavam consolidadas, e assentavam de uma forma importante.

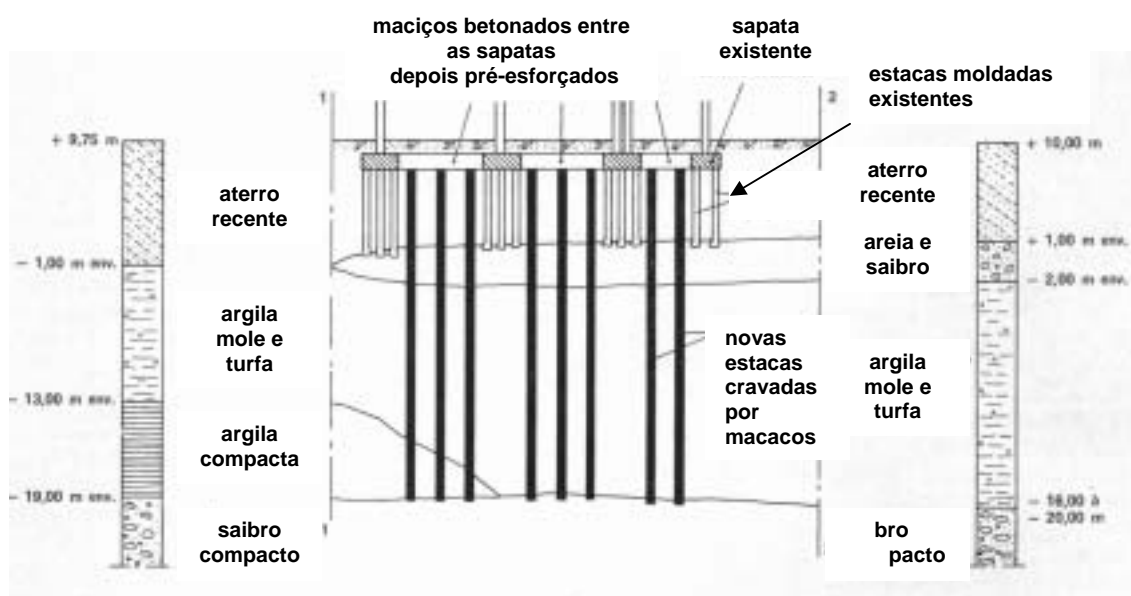


Fig. 19 – Estação Marítima : princípio do reforço das fundações

Foi decidido fazerem-se recalçamentos sob as fundações afectadas por meio de estacas levadas até à cota - 20,00. Infelizmente, uma impunha-se dupla restrição : o pé-direito livre sob o tecto do rés-do-chão (5 m) não permitia alojar-se o equipamento de cravação nem a execução de estacas com 30 m de comprimento; por outro lado, era necessário encontrar-se um modo de execução das estacas que provocasse o mínimo de perturbação na camada de argilas moles e vasas, de forma a que não aumentassem os assentamentos durante a os trabalhos. O Sr. Freyssinet propôs uma solução por estacas cravadas por macacos que se apoiavam nas vigas longitudinais que ligavam as sapatas existentes (fig. 19 e 20). Para isso, foram executados maciços em betão ligeiramente armado, preenchendo a quadrícula existente entre as sapatas. Estes maciços eram furados por chaminés cilíndricas com nervuras horizontais (fig. 21), através das quais seriam cravadas no solo estacas pré-fabricadas, de uma forma contínua, por meio de macacos.

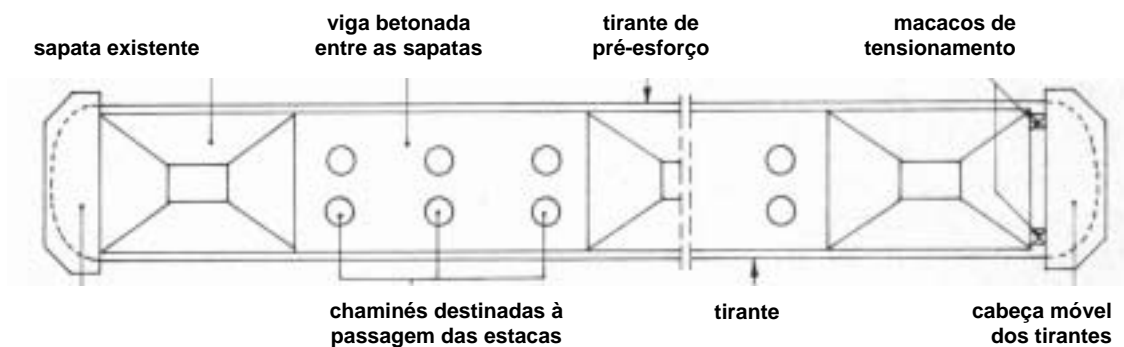


Fig. 20 – Estação Marítima : princípio do reforço das sapatas por pré-esforço

As longarinas eram pré-esforçadas por meio de tirantes em aço colocados em tensão por apoio no betão das longarinas e encamisadas seguidamente. Quanto às estacas, foram pré-fabricadas em cima das longarinas, por troços com cerca de 3 m de comprimento, em moldes metálicos aquecidos por vapor e termicamente isolados. Teoricamente, isto permitia cravar-se o troço endurecido três horas apenas após a sua betonagem. Na realidade, a fabricação e a cravação de cada estaca de 30 m foi, em média, executada em quatro dias.



**Fig. 21 – Estação Marítima :
vista das sapatas mostrando as chaminés para as estacas**

Endereçamos o leitor interessado por estas operações para a revista «Travaux» (nº 30, de Junho de 1935) na qual figura um relatório pormenorizado. Assinalemos, para terminar, que o recalçamento das fundações da Estação Marítima do Havre se desenrolou sem incidente de monta, entre 1935 e 1936, e permitiu a estabilização da edificação.

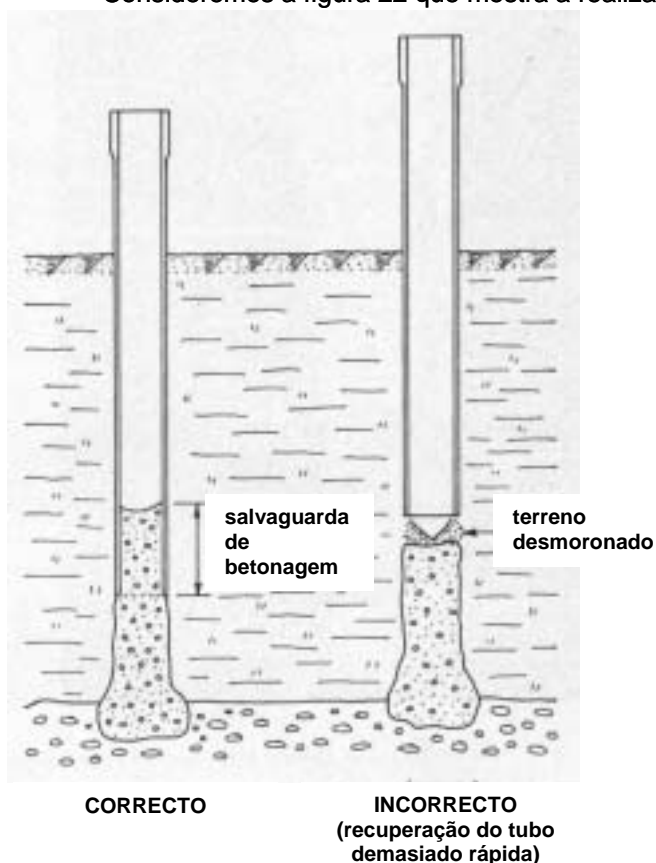
Vamos agora examinar sinistros causados por erros de execução.

IV. ERROS NA EXECUÇÃO

Fora o caso, excepcional, de sinistros devidos à rotura de estacas cravadas pré-fabricadas (porque um cravador consciencioso apercebe-se imediatamente de um tal incidente), é durante a execução de estacas moldadas ou com tubo cravado que se encontram os principais defeitos, e estes consistem todos numa má execução da betonagem.

A . Betonagem a seco

Consideremos a figura 22 que mostra a realização de uma estaca com camisa cravada.

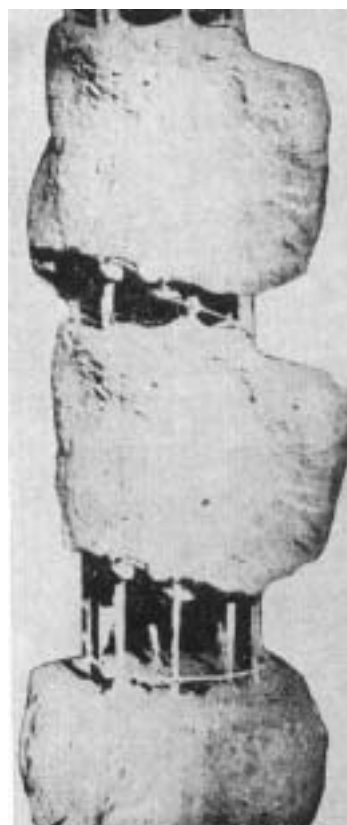


Como se sabe, o tubo, uma vez que atinja a camada resistente e que a penetre no comprimento para a necessária ancoragem, é progressivamente preenchido com betão, por camadas de 20 a 50 cm, que são apiloadas. O tubo é recuperado pouco a pouco e marcas, fixadas, em geral, no cabo de suspensão do pilão e no cabo de recuperação do tubo, permitem assegurar-mo-nos que sobra, em cada instante, no fundo do tubo, uma altura de betão suficiente (salvaguarda de betonagem) para que a cavidade nunca fique destamponada, de modo a que a água não possa penetrar no tubo, ou que o terreno não o invada, por desmoronamento.

Fig. 22 – Execução de uma estaca com camisa Recuperada. Salvaguarda de betonagem

O Documento Técnico Unificado 13-2 relativo às fundações profundas, precisa que esta salvaguarda de betonagem nunca deve ser inferior ao dobro do diâmetro do tubo.

Fig. 23 – Betão deslavado por circulações de água



Se não se tomar esta precaução, arriscamo-nos de ter, quer sejam bolsas de terra na estaca, quer seja um betão deslavado pela circulação da água no solo : a figura 23 representa uma estaca da qual se retirou o mau betão por simples raspagem. Estas zonas defeituosas foram devidas à deslavação do betão por circulações de água e de ar provenientes de uma má utilização de ar comprimido. Foi ainda este o culpado da má execução representada na figura 24; os incidentes produziram-se há cerca de 20 anos, numa obra situada numa cidade do Nordeste de França. Muito afortunadamente, não houve sinistro porque foi detectada a tempo, na altura da recepção da obra, a má qualidade do betão. Tratou-se de estacas moldadas em que a recuperação da camisa era feita por ar comprimido que exercia pressão sobre o betão vazado de fresco, que deveria cumprir o papel de pistão. As estacas atravessavam aterros situados sobre fundações antigas, constituídas por enrocamentos não argamassados. Em consequência de uma má regulação da pressão do ar, os elementos finos do betão (areia e cimento) foram injectados entre os vazios da alvenaria. No fuste das estacas só ficou a brita, evidentemente sem nenhuma consistência. Deve-se ser muito circunspecto, quando se usa o ar comprimido.

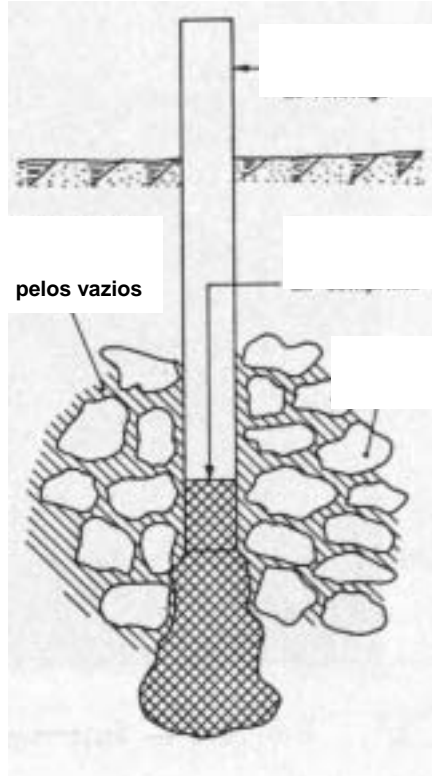


Fig. 24 – Estaca em que o ar comprimido injectou o betão em alvenarias antigas

Um outro defeito de execução corrente consiste em usar-se em obra um betão demasiadamente seco. Isto resulta de ser impossível apiloar-se um betão líquido, pelo que se cai frequentemente no excesso contrário. Com efeito, a colocação no solo de um betão muito seco não evita as mesmas dificuldades de execução que existem nas obras em betão armado; ainda por cima, é impossível a um controlador verificar os resultados após a betonagem.

Se o betão é despejado desde o cimo, é de se temer uma forte segregação. A qual é em geral acentuada pelo apiloamento. É o que mostra a figura 25.

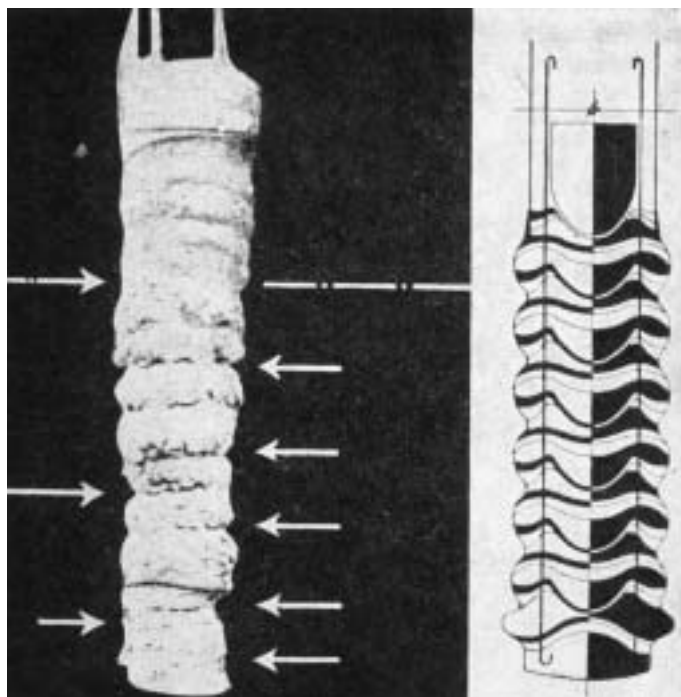


Fig. 25 – Betão demasiado seco despejado de muito alto

A recuperação demasiado rápida do tubo preenchido com betão demasiadamente seco pode conduzir a outros defeitos : seja uma franca discontinuidade no betão (fig. 26), sejam cavidades importantes na estaca : as figuras 27, 28 e 29 mostram, sem que tornem necessários comentários, os incidentes que aconteceram há cerca de 8 anos numa obra da região de Toulouse onde foram executadas estacas moldadas de grande diâmetro. Nessas três fotografias, os danos provocados na superfície do betão pela recuperação do tubo são bem visíveis.

Fig. 26 – Interrupção do betão numa estaca



Fig. 27 – Estaca moldada mostrando cavernas. Betão demasiadamente seco.

Fig. 28 – Estaca moldada mostrando cavernas. Betão demasiadamente seco





Fig. 29 – Estaca moldada mostrando cavernas. Betão demasiadamente seco

Em terrenos muito moles, um apiloamento demasiadamente violento pode provocar deformações muito sensíveis no fuste da estaca, porque o solo é incapaz de resistir aos esforços consequentes da compactação. As figuras 30 e 31, pertença do Sr. Cambefort, parecem ser caricaturas e, no entanto, reproduzem exactamente os incidentes que sucederam numa obra sita num país nórdico. A figura 30 representa o perfil de duas estacas com tubo cravado através de argilas vasosas, depois de terem sido descobertas em toda a sua altura. A figura 31 mostra o aspecto de uma dessas duas estacas. É felizmente um caso muito raro, mas mesmo assim dá muito que reflectir.

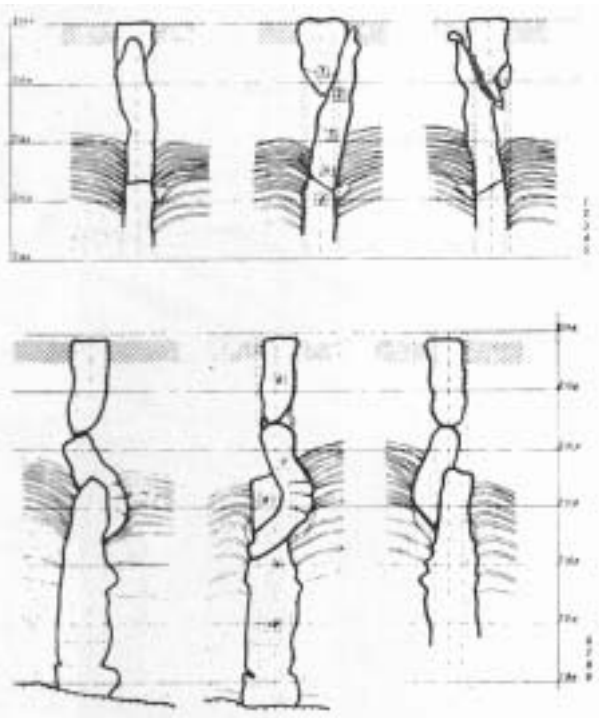


Fig. 30 – Estacas com tubo recuperado executadas através de vasas

Um outro caso, muito frequente, de desordem, provém da má qualidade do betão das estacas. Com efeito, só existe uma relação muito distante entre as resistências à compressão medidas sobre provetes de ensaio e as resistências do betão das estacas, feito em obra. Seria, portanto, ilusório querer-se determinar as tensões admissíveis no betão da estaca em função dos resultados de ensaios sobre cubos ou cilindros. A figura 32 mostra uma estaca de ensaio esmagada no decurso da carga. A ruína desta estaca moldada aconteceu assim que a tensão no betão (tensão referida à secção teórica da estaca) atingiu os 80 bar. Quando se sabe que o Documento Técnico Unificado nº 13-2, já citado, admite uma tensão de 50 bar, se a betonagem for efectuada a seco, temos que nos perguntar o que se arrisca acontecer quando o betão da estaca é de má qualidade, e se o seu fuste apresentar estrangulamentos localizados. Estas considerações devem incitar, por um lado, as empresas a velar pela qualidade do pessoal de enquadramento, e por outro lado, os donos de obras ou os empreiteiros gerais a só escolherem empresas de fundações qualificadas.



Fig. 31 – Estaca com tubo recuperado executada através de vasas



Fig. 32 – Estaca de ensaio (moldada no solo) esmagada durante a carga



Fig. 33 – Vista de um imóvel. Abertura da junta



Fig. 34 – Pormenor da junta

É a uma má execução das estacas que se deve imputar as desordens que afectaram, há uma dezena de anos, um importante grupo de habitações do Sudoeste. Estes edifícios estavam fundados sobre estacas de diferentes tipos apoiadas numa camada de saibros situada a cerca de 16 m de profundidade. Desde a sua conclusão, um certo número destes edifícios acusaram assentamentos irregulares (atingindo por vezes 30 cm) que se traduziram por inclinações e fissurações na superestrutura. A figura 33 representa um desses edifícios durante o decurso dos trabalhos de reforço. Vê-se nitidamente a abertura da junta de dilatação. A inclinação aparece ainda mais claramente no pormenor ampliado da figura 34.

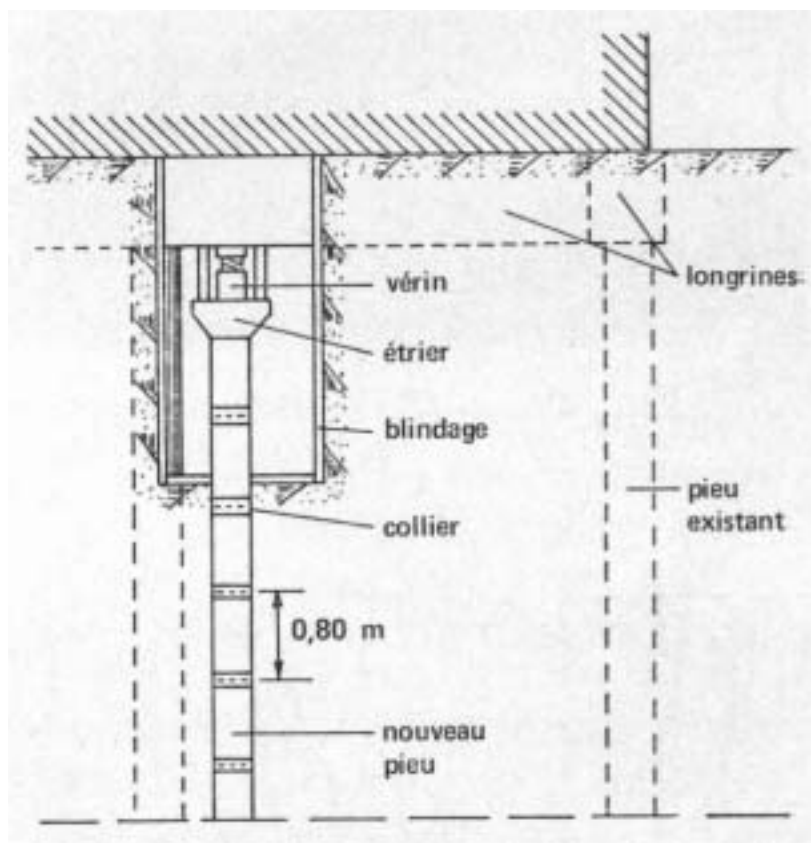


Fig. 35 – Princípio do recalçamento por acção de macacos

A consolidação foi feita por meio de estacas cravadas por macacos, constituídas por elementos pré-fabricados de 80 cm de comprimento (fig. 35). Nas figuras 36 e 37 nota-se a consola de apoio das novas longarinas sobre as estacas e o escoramento provisório sobre essas consolas. Uma vez efectuada a cravação definitiva, os macacos eram retirados e os alvéolos que lhes serviam de alojamento eram selados com betão. Na figura 37, reconhece-se, à esquerda, a antiga estaca.



Fig. 36 – Fotografia de um macaco



Fig. 37 – Imagem captada junto a uma estaca antiga

B . Betonagem na presença de água

Em todos os casos precedentes, supusemos que a betonagem tinha tido lugar a seco, quer dizer que não se tinha podido introduzir água no tubo durante a betonagem da estaca. Este caso encontra-se – evidentemente – quando não há água no terreno, mas também quando o orifício do tubo estiver obturado de uma forma estanque : é o que acontece com certos tipos de pilões, ou com estacas de um tipo particular que levam na sua base uma rolha de betão comprimido. **De qualquer modo, a empresa deve verificar, antes de qualquer betonagem, se existe água no tubo e, no decurso da obra, a salvaguarda de betonagem aqui definida deve ser respeitada.**

Com estacas moldadas, pelo contrário, assim como para certas estacas com camisa cravada, a penetração do tubo num terreno imerso provoca obrigatoriamente a subida da água no interior do tubo. Impõe-se então a betonagem na presença dessa água. A prática que consiste em despejar sem qualquer cuidado o betão no interior do tubo, desde a sua boca, está proibida porque provoca a deslavagem desse betão.

Um betão muito seco comporta-se mal ao contactar com a água . É, portanto, necessário utilizar-se uma consistência plástica. A betonagem pode-se fazer com um balde de fundo móvel ou, de preferência, com um tubo mergulhante. Não insistiremos sobre as precauções a serem tomadas nos diversos modos de betonagem, e endereçamos o leitor para o DTU 13-2 já citado.

Gostaríamos de assinalar, antes de terminar este parágrafo, alguns acidentes que aconteceram durante a execução de poços moldados, abaixo do nível do lençol freático, tendo sido feita a perfuração por meio de baldes de garras e sendo o terreno de fundação constituído por materiais que, a seco, apresentam quase a consistência da rocha mas que, desagregados pelos dentes do balde perfurador e deslavados pelo lençol freático, se transformam em lama. Entre esses terrenos, podem-se citar algumas argilas ou margas muito compactas da periferia da Bacia Parisiense, assim como alguns xistos do Maciço Central.

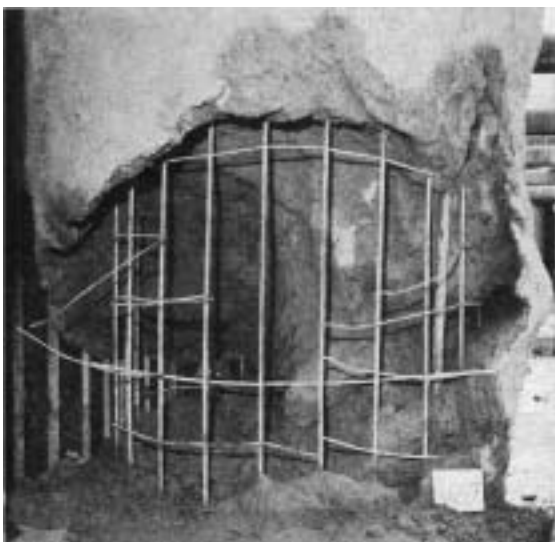
Os fragmentos desses solos, assim amassados, não são retirados pelo balde de garras e formam, na base do furo, uma camada muito compressível que é difícil de remover. Em caso de betonagem sem um prévio saneamento – mesmo usando-se o tubo mergulhante – o betão desses poços, arriscamo-nos a deixar no fundo um leito de lama que provocará, quase de certeza, assentamentos posteriores. O remédio não é nem simples nem económico, pois o saneamento do fundo dos poços exige a utilização de uma ferramenta especial. Senão, convém escolher outro modo de execução das fundações.

C . Betonagem com *lamas bentoníticas*

Utiliza-se, neste caso, a técnica de perfuração com *lamas bentoníticas* que consiste, lembramos, em empregar-se, para suportar o terreno ao longo das paredes do furo, não um tubo, mas um fluido tixotrópico de densidade 1,05 a 1,2, que se obtém pela dispersão da bentonite em água. Este procedimento, cujas primeiras aplicações em França remontam a 1955 (parede moldada na Barragem de Serre-Ponçon), está perfeitamente desenvolvido e constitui uma técnica muito segura, na condição de ser executada em obra por empresas que tenham adquirido a sua mestria absoluta e que disponham de um material perfeitamente fabricado.

Tem sido a má escolha desta *lama* que tem provocado o maior número de sinistros; com efeito, a viscosidade da *lama* deve estar compreendida entre dois valores limites : abaixo do limite inferior, arrisca-se que a *lama* não desempenhe o seu papel estabilizador; acima de uma certa densidade, esta *lama* fica muito rígida e não é empurrada para cima durante a betonagem. Podem sobrar na obra “bolsas” de *lama* que formam, em consequência, discontinuidades de betonagem. É o que aparece nos dois poços representados nas figuras 38 e 39. O enorme vazio que existe no poço da figura 39 faz pensar irresistivelmente numa jaula de leões. Parece mesmo que, à data, a empresa ainda não tinha “domado” bem esta técnica...

**Fig. 38 – Estaca moldada com lamas :
discontinuidade**



**Fig. 39 – Estaca moldada com lamas :
a «jaula dos leões»**

A figura 40 representa a parte superior de um alinhamento de estacas adjacentes perfuradas com *lama*. O bolo falso (chama-se assim ao depósito de *lama* em redor das armaduras) não foi expulso pelo betão. A má execução é geral.

**Fig. 40 – Parte superior de uma cortina
de estacas adjacentes betonadas com
lamas**



Quanto à figura 41, ela mostra uma parede moldada executada (poder-se-ia quase dizer massacrada) por uma empresa que começava a trabalhar com este tipo de técnicas.

**Fig. 41 – Parede moldada executada por
uma empresa principiante**

Algumas ilustrações, escolhidas evidentemente entre as mais gritantes, não têm por objectivo desacreditar um procedimento que é, repete-se, perfeitamente estudado e seguro : elas deveriam somente incitar os donos de obras a só confiar os seus trabalhos a empresas válidas, sem usar como único critério o preço. Esta consideração não só válida para as perfurações feitas com *lamas* ...

D . Exemplos diversos

Reunimos neste parágrafo alguns defeitos de execução que não se conseguiram arrumar em nenhuma outra rubrica.

Vejamos, para já, dois casos que combinam ao mesmo tempo defeitos de execução e erros de concepção.

- Em primeiro lugar, podemos constatar, pelos dossiers estudados, que, em estacas acabadas de serem executadas, os defeitos tinham sido provocados pela cravação de uma estaca ou de um tubo na sua proximidade. Isto pode acontecer em todos os solos relativamente plásticos e saturados. A cravação criou em tais terrenos um movimento ascendente, análogo ao que se provoca quando se mergulha um objecto na água.

A ascensão do terreno no qual se cravam estacas ou tubos pode :

- o Ou fazer subir globalmente a estaca se esta for suficientemente resistente (estaca pré-fabricada ou estaca moldada armada já endurecida),
- o Ou provocar a estricção, ou seja o corte da coluna de betão, se esta ainda estiver fresca.

Quanto ao segundo risco, a única maneira de nos precavermos consiste em estabelecer uma ordem de cravação baseada na seguinte regra : **um grupo de estacas crava-se partindo do centro para terminar na periferia**, e nunca ao contrário.

- O segundo caso diz respeito a um tipo de estaca de uma género muito particular pois a betonagem tem lugar no interior de uma "manga" em betão dilatada por pressão, no seio do solo. É evidente que certas camadas de terreno atravessadas devem opor a esta dilatação uma resistência importante : é, portanto, usar-se de um grande optimismo pensar-se que a estaca assim construída tenha uma secção constante. A figura 42 foi tomada há dois anos numa obra sita na região parisiense. E aí, no entanto, as condições de execução não eram especialmente desfavoráveis, porque se tratava de executar estacas de 5 m de comprimento médio atravessando sucessivamente 1 m de aterro arenoso e 3 m de argila arenosa, ancoradas nas areias e saibros.



Fig. 42 – Estaca «dilatada» desguarnecida

Tendo uma estaca de ensaio sofrido, durante a carga, um afundamento brutal, foi desguarnecido um certo número de outras estacas : esta escavação parou à cota - 2,50 em consequência da presença do nível freático, mas foi possível constatar-se que muitas destas estacas apresentavam um notável estreitamento a uma profundidade compreendida entre 1 e 2 m. No boletim técnico do procedimento era indicado que deveria ser efectuado um controlo visual ao interior da manga antes da betonagem da alma da estaca . pergunta-se o que se teria passado se as mangas tivessem 10 m de comprimento. A figura 43 mostra um corte, em duas direcções perpendiculares entre si, de uma das estacas desguarnecidas. De acordo com as informações que conseguimos recolher, o montante dos trabalhos de reforço foi mais elevado que o dos trabalhos iniciais.

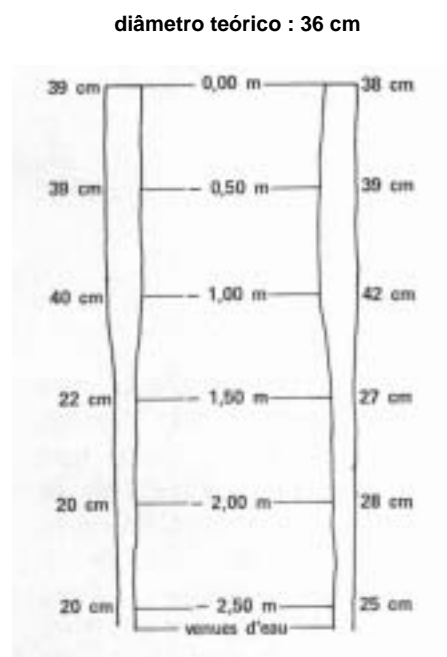


Fig. 43 – Estaca «dilatada» : corte em duas direcções perpendiculares

- Nesta categoria de sinistros, vamos citar um último exemplo. Não tem, é certo, qualquer generalização possível – por sorte – e só oferece um interesse anedótico. Se o descrevermos, é para mostrar até onde pode ir a imaginação do pessoal de algumas empresas. Para não sermos acusados de ter inventado todos os pormenores deste exemplo, diremos simplesmente que os factos se passaram em 1959, no Norte de França. As causas deste sinistro eram tão simples, mas tão inesperadas, que os peritos se interrogaram sobre o problema durante vários anos. Eis os factos :

Tratava-se de fundar, numa fábrica, três cubas cilíndricas idênticas, de 10 m de altura e de 4 m de diâmetro exterior, tendo cada uma capacidade de 100 m³ (fig.44). As sondagens prévias mostraram que sob uma camada de pouco mais que 5 m de terrenos incoerentes encontrava-se um banco de areia e saibro com 3,10 m de espessura sobreposto a margas compactas. Foi decidido que a soleira suporte das cubas repousaria sobre um maciço em betão armado constituído por longarinas ligadas superiormente por uma laje com 12 cm de espessura (fig. 44 c, corte BB); esta sapata seria suportada por sete estacas pré-fabricadas em betão armado, com uma secção quadrada de 30 cm de lado, cravadas e ancoradas na camada de areias e saibros. A carga por estaca não ultrapassaria as 35 t. Este projecto foi executada assim; as estacas foram cravadas; o seu comprimento, muito regular, correspondia a uma entrega de cerca de 1,5 m nas areias e saibros, e os rejeitos obtidos permitiam contabilizar-se uma capacidade de carga de 80 t, já incluindo o coeficiente de segurança, o que era superabundante.

Quando foi posta a obra em serviço, uma das três cubas adquiriu muito rapidamente um desaprumo de 4 cm o qual foi travado porque essa cuba se veio a apoiar sobre um pavimento vizinho, enquanto que o maciço assentou de um a dois centímetros de forma desigual. Todas as pessoas se perderam em conjecturas sobre esta inclinação, porque muitas edificações vizinhas tinham sido fundadas da mesma maneira sem que se tivesse verificado a menor desordem. Avançou-se a hipótese de um assentamento nas estacas consequente de uma deslavagem, por um fluxo de águas subterrâneas, dos elementos finos do solo de areias e saibros... até ao momento em que uma sondagem foi feita sob este maciço. E a sondagem mostrou que a sapata repousava, não directamente sobre a cabeça das estacas, mas sobre uma camada de aterro formando um colchão compressível acima dessas estacas ! Terão os construtores ouvido dizer que as cubas deveriam estar sobre um leito de areia ? A verdade é que foi necessário levantar a cuba, demolir a sua

soleira e respectiva sapata, e reconstruir uma nova obra ligada directamente às cabeças das estacas...

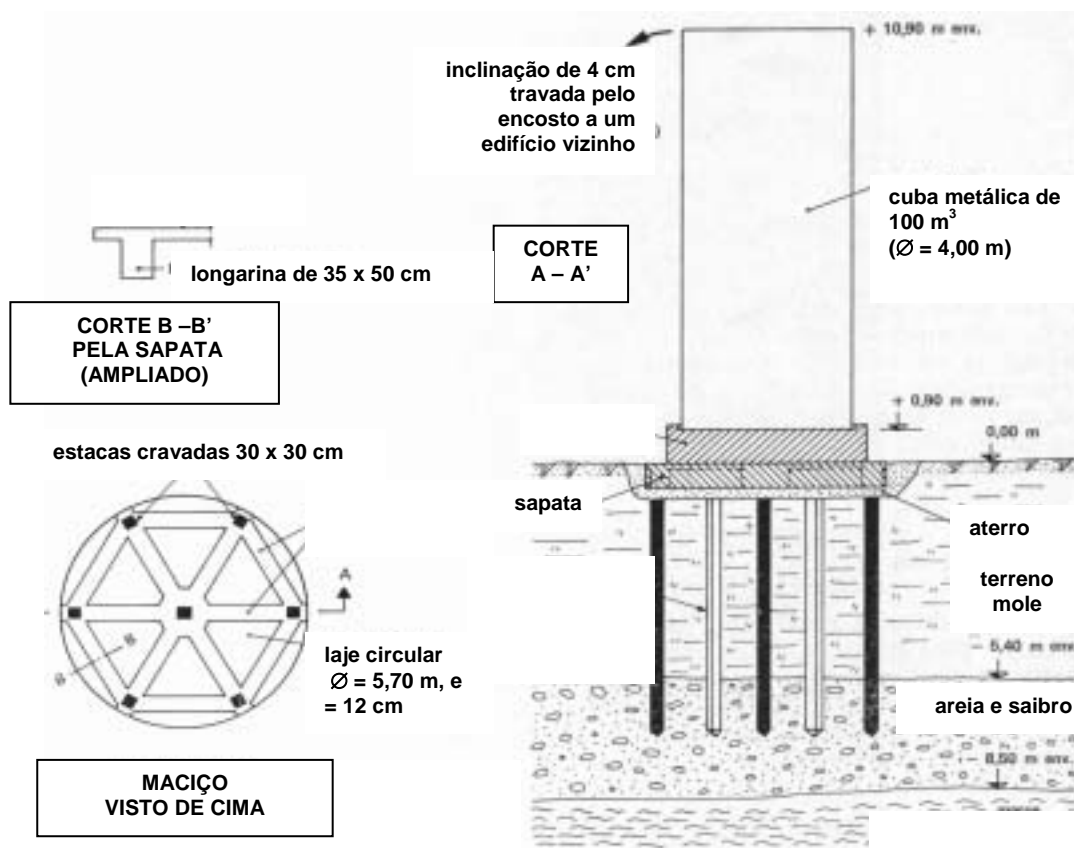


Fig. 44 – Inclinação de uma cuva assente sobre aterro

Este exemplo tem ao menos o mérito de mostrar que não basta conceberem-se fundações profundas tecnicamente irrepreensíveis e de as executar de uma maneira perfeita. Falta, ainda, assegurarmo-nos que foram previstas ligações convenientes para transmitir às estacas, de uma maneira satisfatória, os esforços de toda a natureza, provenientes da superestrutura. Isso implica uma boa coordenação entre as diversas empresas da obra porque, contrariamente aquilo que se passa para as fundações superficiais, o empreiteiro geral não foi normalmente quem realizou as fundações profundas. É de crer que se esta ligação tivesse tido lugar no exemplo precedente, e sobretudo se tivessem sido estabelecidos e enviados ao director de obra planos precisos, o sinistro não se teria verificado.

E . Caso de estacas perfuradas de fraca profundidade

Tudo o que afirmamos até agora respeita sobretudo às estacas e poços perfurados. Pelo contrário, quando se trata de executar poços de grande diâmetro e fraca profundidade (3 a 4 m), alguns empreiteiros gerais têm o hábito de executarem eles mesmos estes trabalhos utilizando uma escavadora equipada com um trado, de retirar assim a terra do furo e, quando se supõe ter atingido o terreno são, encher a escavação com betão ciclópico. Quando a terraplanagem foi executada num terreno seco e com bom comportamento, esta prática não tem nada de repreensível, tendo-se a precaução de se entivar, mesmo ligeiramente, o metro superior para se evitarem esboroamentos acidentais; pelo contrário, em terrenos encharcados e se o final da escavação se faz abaixo da água, corre-se o risco de despejar o betão sobre a camada de terra ou de lama que cobre o fundo da escavação. Neste último caso, as empresas devem entubar ou entivar o furo à medida que vão descendo o trado, e proceder ao saneamento do fundo antes da betonagem.

Vamos agora estudar a influência da agressividade do meio sobre as estacas.

V . ATAQUE DAS ESTACAS PELO MEIO ENVOLVENTE

As estacas podem, em diversos casos, ser vítimas de um certo número de ataques indutores da sua ruína num prazo maior ou menor, variando o género de ataque com o material constitutivo da estaca.

A . Estacas em madeira

As fundações por estacas em madeira tornam-se cada vez mais raras em França, em construções novas; por isso não nos vamos demorar sobre este problema. No entanto, como o caso pode apresentar-se no restauro de obras antigas comportando fundações em madeira, vamos dar algumas indicações de ordem geral.

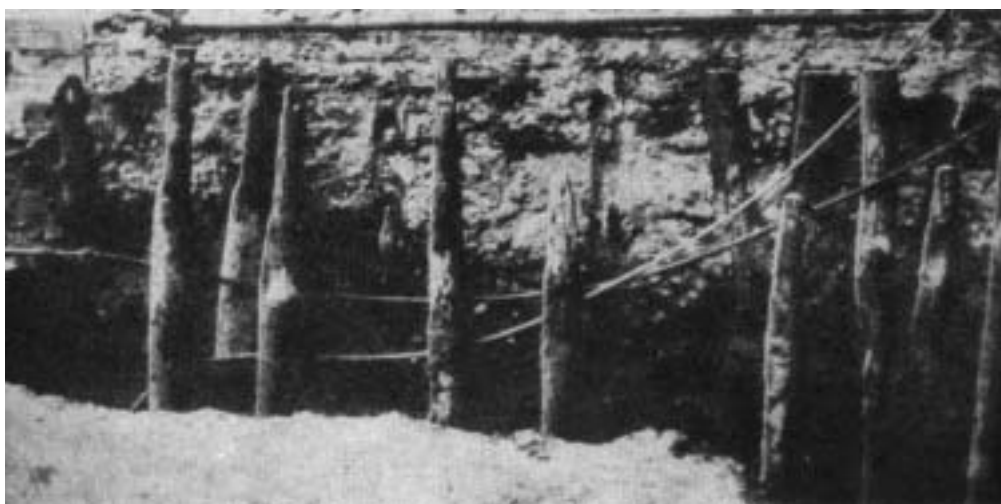


Fig. 45 – Apodrecimento de estacas em madeira

As madeiras enterradas podem ser destruídas por um fungo que ataca as suas células; a estaca cede por apodrecimento (fig. 45). É de notar, no entanto, que para se desenvolver, este fungo necessita não só de humidade, mas de ar, de tal forma que o ataque das estacas só acontece acima do nível freático ou, no caso de trabalhos próximos do mar, na zona de maré e acima desta. Estacas de madeira constantemente imersas não correm, portanto, nenhum risco; por azar, o nível dos lençóis freáticos está longe de ser constante e, nas cidades em particular, em consequência das bombagens para necessidades industriais e em consequência da criação de drenagens ou de redes de esgotos, assim como em consequência da impermeabilização sucessiva das superfícies de alimentação desses lençóis (estacionamentos, ruas, etc.) estes baixam de nível regularmente : em Paris, por exemplo, este abaixamento foi de 2 m em 60 anos (1,20 m nos últimos 30 anos). É, portanto, difícil fazerem-se previsões a este respeito. Aconselha-se, por isso, tratar-se sempre a madeira. O tratamento preventivo mais conhecido é a creosotagem que envenena os nutrientes favoritos desses fungos. Estatísticas oriundas dos Estados Unidos indicam que a duração de uma estaca enterrada assim tratada pode ultrapassar largamente uma centena de anos.

Entre os casos mais conhecidos de destruição de estacas em madeira pelo apodrecimento, podemos citar o Grand Palais em Paris, e o Museu de Grenoble.

A parte das estacas fora do solo (nas caixas de ar, por exemplo) pode ser atacada por insectos (caruncho, térmita). Existem actualmente excelentes insecticidas com uma acção preventiva muito durável.

Por fim, assinalemos a título de memória, para acabarmos com as estacas de madeira, que estas podem ser destruídas, em obras marítimas, por certos moluscos, como o teredo. Tais sinistros não existem em França, pelo menos que sejam de nosso conhecimento, pelo que remetemos o leitor mais interessado para a obra já citada do Professor Chellis.

A figura 46 mostra o afundamento na Baía de S. Francisco (Califórnia) de um imóvel sobre estacas de madeira destruídas pelo teredo.



Fig. 46 – Desmoronamento de um edifício fundado sobre estacas em madeira

B . Estacas metálicas

Utilizam-se, há muito tempo, principalmente nos Estados Unidos, perfilados comerciais, tal como laminados ou reunidos por soldadura. Há alguns anos apareceram estacas incluindo uma camisa exterior tubular, no interior da qual se coloca betão. Este procedimento só é económico se se tiver em conta a secção do tubo para o cálculo da carga admissível. Em suma, é o tubo que serve de armadura. A validade deste sistema depende da conservação do metal, ao longo do tempo. Se a estaca estiver constantemente imersa em água não agressiva, não é de recear qualquer corrosão; deve-se, como com as estacas de madeira, ser muito prudente quanto ao nível do lençol freático. Pelo contrário, se as águas forem agressivas, ou acima do nível freático, a destruição da camisa metálica é só uma questão de tempo. Com efeito, todos os revestimentos protectores ficam mais ou menos destruídos pelo atrito com o terreno durante a cravação. Parece, então, necessário prever-se uma secção de armadura no interior do núcleo em betão, vizinha da da camisa, aos níveis em que haja risco desta ser destruída. Quanto ao próprio betão, deve ser fabricado utilizando-se um cimento resistente às águas agressivas (conforme os casos : cimento «marítimo», cimento CHF ou CLK).

C . Estacas em betão

São, felizmente, raros os casos de destruição de estacas por águas agressivas contidas no terreno, ou pela água do mar; os poucos sinistros que observamos são, quase todos, causados pelo emprego, por engano, do cimento Portland. Não é demais relembrar que os cimentos a utilizar devem ser escolhidos entre os que enumeramos no anterior parágrafo B. Mas se o terreno atravessado pelas estacas for muito agressivo, o emprego de cimentos especiais não chega para se evitar a destruição das fundações. Vamos, a este propósito,

relatar um acidente extremamente típico que teve lugar, há dez anos, numa fábrica de produtos químicos na região de Lyon. Esta fábrica produzia ácido fluorídrico utilizando a reacção do ácido sulfúrico sobre a fluorina, que é, como se sabe, fluoreto de cálcio. Além do ácido fluorídrico, esta reacção produzia sulfato de cálcio ao qual a fábrica não sabia o que fazer. Por isso utilizou-o para aterrar o terreno vizinho para onde tinha projectado uma extensão. Assim, o solo sob a nova edificação era constituído da seguinte forma (fig. 47) : sob 4 metros de aterro com sulfato de cálcio, encontrava-se o terreno natural, um limo muito pouco permeável, com 2 m de espessura aproximada, que se sobrepunha aos aluviões do Ródano : uma camada com cerca de 15 metros de areias e saibros.

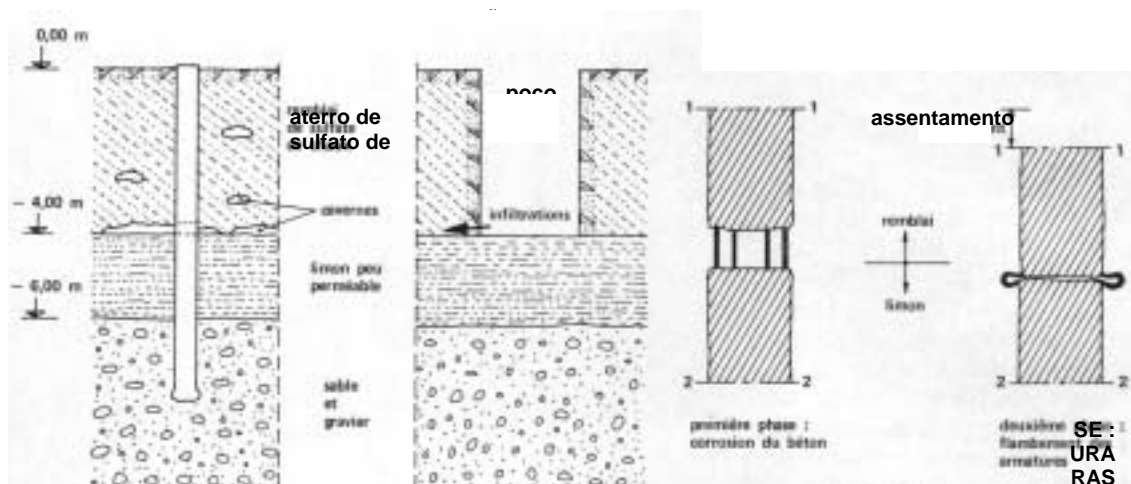


Fig. 47 – Ataque de estacas por águas agressivas

Quando o sulfato de cálcio foi espalhado sobre o terreno, ele era anidro, mas a acção das águas da chuva provocou a sua parcial dissolução, até ao ponto que o aterro o permitiu, bem como o aparecimento de cavernas, que eram mais abundantes ao nível do limo.

As estacas forma moldadas através deste aterro e do limo, tendo sido ancoradas nos aluviões. A edificação foi construída e posta em serviço. Pouco tempo depois, como a fábrica tinha necessidade de evacuar as suas águas residuais, criou um poço absorvente. Estas águas, carregadas de ácido fluorídrico, acumularam-se ao nível do limo pouco permeável e, em pouco tempo, destruíram completamente o betão (cujas sílica foi atacada pelo ácido fluorídrico) deixando intactas /sem que se saiba porquê) as armaduras; estas, todavia, eram insuficientes para suportarem por si sós o peso da construção, e encurvaram : a edificação abateu ligeiramente. Foi necessário suprimir-se o poço culpado e recalçar as longarinas com novas estacas.

Este exemplo mostra que se deve ser muito prudente quando se executam estacas em terrenos que correm o risco de virem a tornar-se agressivos. É o caso da maior parte das fábricas de produtos químicos que tratam de se desembaraçarem dos seus resíduos poluentes por meios mais ou menos inconfessáveis. O poço absorvente é um destes meios, quando se trata de evacuar líquidos. É por isso que, se o empreiteiro vai trabalhar para um desses clientes, deve exigir uma análise do terreno e das águas, porque o solo pode já estar contaminado (se formos construir um novo edifício numa fábrica já existente) e, em todos os casos, obrigar o dono da obra a especificar bem a natureza dos resíduos que poderão ser evacuados para o solo. A consulta de um especialista em matérias de cimentos permitirá, então, determinar-se a natureza do ligante e dos inertes a utilizar.

Antes de concluir este artigo, no qual passamos em revista os sinistros imputáveis às fundações profundas, não gostaríamos de deixar o leitor com uma impressão demasiadamente pessimista; é por isso que vamos relatar um acidente que, sem dúvida, não teria acontecido, precisamente se tivesse sido adoptado este tipo de fundações.

O sinistro aconteceu há mais de quinze anos num Departamento do Sudoeste do Maciço Central; afectou gravemente um silo – construído 22 anos antes – de tal forma que só restou a solução de se prescrever a sua demolição. Esta edificação, representada na figura 48, tinha em planta a forma de um rectângulo com as dimensões aproximadas de 8,50 x 18,50 m. Era constituído por uma torre de trabalho, e por oito células em betão armado, podendo conter um total aproximado de 8000 quintais de cereal (fig. 49). As paredes exteriores das células estavam revestidas com tijolo maciço de 11 cm de espessura. Tendo em consideração o terreno encontrado (fig. 48) foi decidido fundar-se a edificação, por meio de sapatas isoladas, numa camada de saibros situada a uma profundidade de 10,40 m. Foram então abertos 17 poços com as dimensões das sapatas previstas. Uma vez executadas estas sapatas, procedeu-se à betonagem dos respectivos pilares, executando-se das suas cofragens sobre aquelas. Após descofragem, foi aterrado o espaço sobrance entre estes pilares e a escavação dos poços. Os pilares estavam ligados entre si por vigas de travamento. A vala acima dessas vigas foi também aterrada, assim como uma plataforma que iria servir de cais. Uma cortina em betão armado, apoiada nestes pilares, servia de muro de contenção para o aterro. O acidente aconteceu numa noite de Agosto, estando o silo meio cheio : os três pilares 1, 2 e 3 da empena oeste (fig. 49) afundaram-se cerca de 3 m em questão de minutos. De pórtilco em pórtilco, todos os pilares se partiram mas o silo não tombou : a inclinação da empena oeste foi detida por apoio na viga periférica ao nível do solo (fig. 50) enquanto que a empena nascente, cujo abatimento foi de apenas 40 cm, ficou sobre os respectivos pilares. A superestrutura, adquiriu assim, sem se deformar, uma inclinação importante (fig. 51).



Fig. 50 – Vista do silo assente sobre o solo

Este sinistro teve certamente diversas causas, mas a principal foi, sem dúvida, a encurvadura dos pilares. Com efeito, estes pilares sofreram esforços de flexão importantes causados pelas vigas de travamento, deformadas pelo peso dos aterros e pela sobrecarga dos sacos de trigo sobre o cais; para mais, os pilares exteriores recebiam impulsos importantes pela parte da membrana de contenção do cais, que se apoiava sobre eles; as armaduras destes pilares eram incapazes de resistir a estes esforços, porque a sua secção era insuficiente, e parece mesmo que algumas já tinham sofrido uma importante corrosão, conseqüente da aparentemente medíocre compacidade do betão.

Este exemplo mostra mais uma vez a influência nefasta dos aterros que provocaram, certamente, a encurvadura dos pilares, encurvadura à qual o terreno em redor dos pontos de apoio era incapaz de se opor. Uma fundação por poços ou por estacas – admitindo-se que um ensoleiramento geral não tivesse sido conveniente – teria efectivamente evitado um tal afundamento.

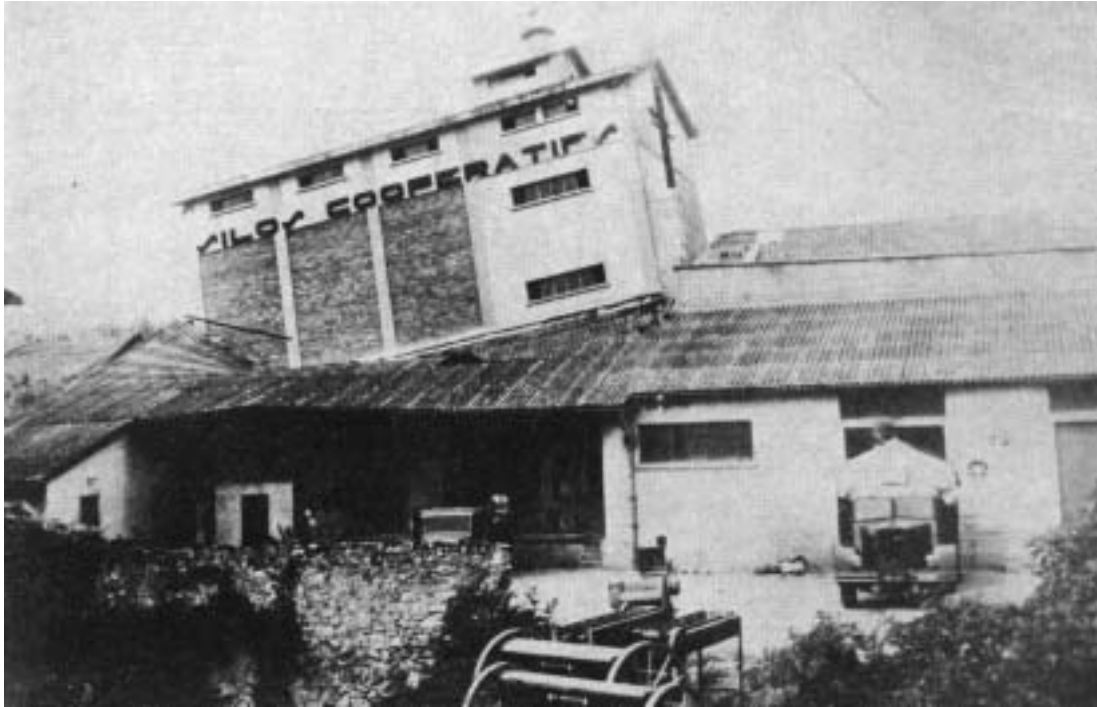


Fig. 51 – vista de conjunto do silo inclinado

VII . CONCLUSÕES

Acabamos de passar em revista os casos de patologias que recenseamos no decurso do exame dos nossos arquivos; não tivemos a pretensão de ter evocado todas as causas de sinistros possíveis, mas pensamos que, pelo menos, caracterizamos as mais correntes. O leitor pode ter, talvez, ficado surpreso por constatar que a maior parte das fotografias que publicamos respeitam a defeitos de execução, enquanto que, a princípio, indicamos que estes só representam cerca de 15 % dos sinistros. Isto deve-se ao facto de que estes defeitos são os mais espectaculares; os assentamentos, com efeito, provocam quer inclinações que são pouco visíveis numa fotografia, quer fissuras que são, igualmente, pouco visíveis.

Nas nossas conclusões, distinguimos duas partes :

a concepção e a execução

- No que respeita à **CONCEPÇÃO** das fundações profundas, relembramos o que dissemos para as fundações superficiais, e que retomamos no anterior capítulo II. **Os defeitos de concepção são de longe os mais numerosos**; esperamos que, depois de ter lido este artigo, o leitor fique bem convencido do facto de que **a insuficiência no reconhecimento dos terrenos e a ignorância de algumas das leis da mecânica dos solos** podem conduzir a graves ideias preconceituosas; mas o que menos se sabe é que essas ideias preconceituosas podem levar a que se escolham soluções dispendiosas. Nos nossos dias é impossível saber-se tudo ; não é nenhuma vergonha rodearmo-nos de especialistas. **É necessário que os autores dos projectos se habituem a consultar, desde a fase do estudo prévio, um técnico adequado** que os aconselhe, não só nos reconhecimentos e ensaios a levar a cabo, e sobre o tipo de fundações a prever, mas ainda sobre as eventuais incidências da natureza do terreno sobre a estrutura da edificação. Com efeito, **as fundações e a superestrutura formam um todo, que se trata de conciliar tendo em conta um duplo imperativo : o da segurança, decerto, mas também o da economia.**

- No que respeita à EXECUÇÃO dos trabalhos, não somos capazes de melhor do que pedir emprestadas ao Sr. Cambefort estas frase, extraídas da sua já citada obra, que visam essencialmente as estacas e os poços moldados no terreno :
 - o «Os defeitos de execução podem ser motivados pelas seguintes causas :
 - o **procedimento de betonagem mal adaptado;**
 - o **utilização de um betão susceptível de dar grandes resistências, mas que não se consegue colocar correctamente em obra;**
 - o enfim, **dificuldades de execução escamoteadas pelo andar depressa**, com o fim de se não perder dinheiro num mercado espremido».

«Muito frequentemente, é esta última causa a essencial. É ridículo constatar-se que ela só depende do dono da obra, que pensa fazer economias pagar o menos caro possível os trabalhos cujo controle necessita um perfeito conhecimento de uma profissão um pouco de excepção».

Não se deve pensar que as más execuções sejam muito correntes. Infelizmente, elas desacreditam um procedimento que, pelo contrário, tem todo o valor. Em contrapartida, numerosas fundações satisfatórias mostram que, apesar das suas dificuldades de execução, existem muitas equipas, que vão do engenheiro ao operário, que conhecem perfeitamente bem o seu ofício, e nas quais se pode ter toda a confiança. O essencial é saber escolhê-las bem».

NOTA DO TRADUTOR

Pela mão do colega Joaquim Ribeiro, entrei no fascinante mundo do ensino; sem mais considerações, agradeço-lhe e dedico-lhe o presente trabalho de tradução e edição.

Sobre este artigo : trata-se de uma publicação que encontrei na prestigiada revista ANNALES D' L ITBTP, escrita em linguagem acessível aos Formandos do Cenfic. O Autor descreve em termos qualitativos, sem recorrer a modelos matemáticos, incompreensíveis aos Quadros Médios, muitos dos problemas que se podem colocar na concepção e na execução dos diversos tipos de fundações, usualmente empregues em construção civil, assim como as suas dramáticas consequências.

A sua leitura é um excelente meio para o desenvolvimento dos conhecimentos adquiridos, pelos Formandos, sobre fundações, no Módulo de Materiais e Processos Construtivos.

Como noutros trabalhos de tradução, optei por um intransigente respeito pelo Autor, pelo que ele escreveu, e pela forma como o escreveu. Alguma terminologia difere um pouco da que se usa habitualmente em Portugal, mas não impede a boa compreensão do assunto. Por exemplo, preferi traduzir "sables et graviers", expressão muito empregue pelo Autor para caracterizar um determinado tipo de terreno, por "areias e saibros", quando a palavra "saibros", pode ter significados diversos, conforme a região do País em que seja empregue. Poderia ter optado por "areias e calhaus", mas preferi uma tradução mais literal, já que "calhaus" também poderia ter interpretações inadequadas. Ao Leitor agradeço a sua melhor compreensão para este tipo de opção.