



**Ier. CONGRESO DE ESTRUCTURAS,
PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS Y MATERIALES**

Análisis de Accidentes en Estructuras de Hormigón

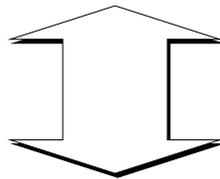
Paulo Helene

*Ing. Prof. Dr. Catedrático de la Universidad de São Paulo
Miembro de la **fib**(CEB-FIP) Service Life Model Code
Coordinador de la Red Rehabilitar CYTED
Presidente do IBRACON*

Montevideo, 9-11 de mayo 2007

1

IBRACON
Instituto Brasileiro do Concreto



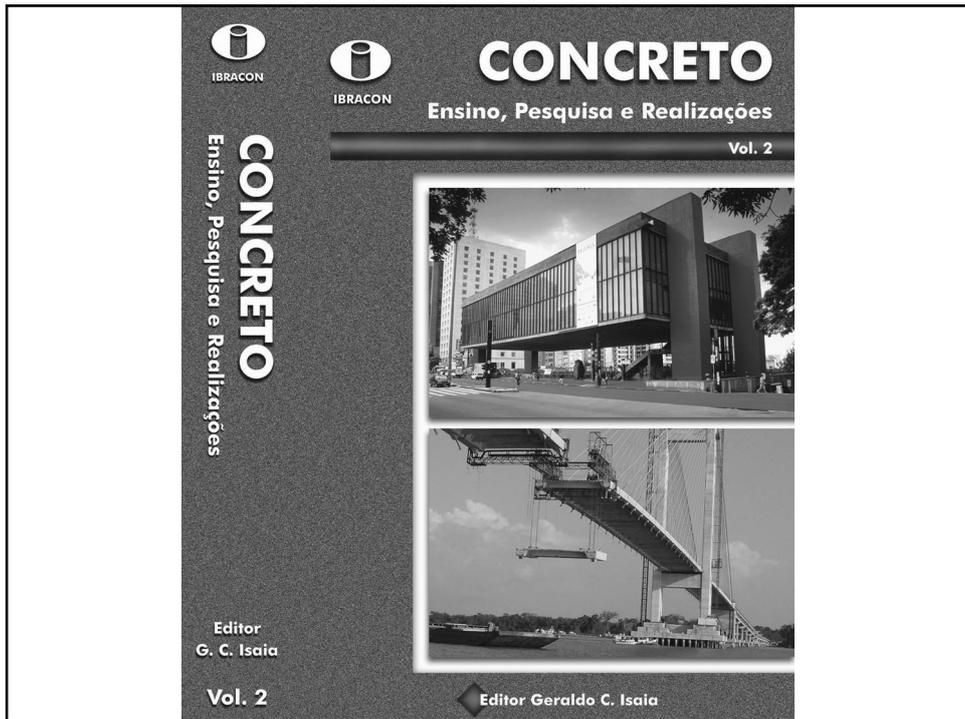
35 años

www.ibracon.org.br

2



3



4



5



**1er. CONGRESO DE ESTRUCTURAS,
PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS Y MATERIALES**

La Contribución de la Ingeniería y de la Arquitectura al Desarrollo de la Humanidad !

Paulo Helene
*Ing. Prof. Dr. Catedrático de la Universidad de São Paulo
Miembro de la fib(CEB-FIP) Service Life Model Code
Coordinador de la Red Rehabilitar CYTED
Presidente do IBRACON*

Montevideo, 9-11 de mayo 2007

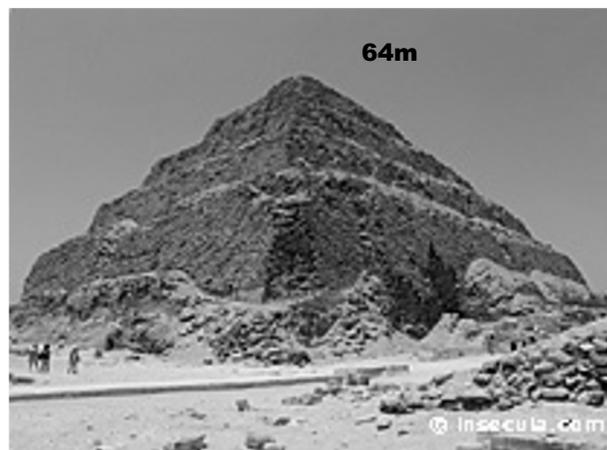
6

**QUANDO FOI
RECONHECIDA a
PROFISSÃO de
ARQUITETO e
“ENGENHEIRO CIVIL”
por
PRIMEIRA VEZ ?**

7

Arquiteto e político Imhotep

2.790 aC

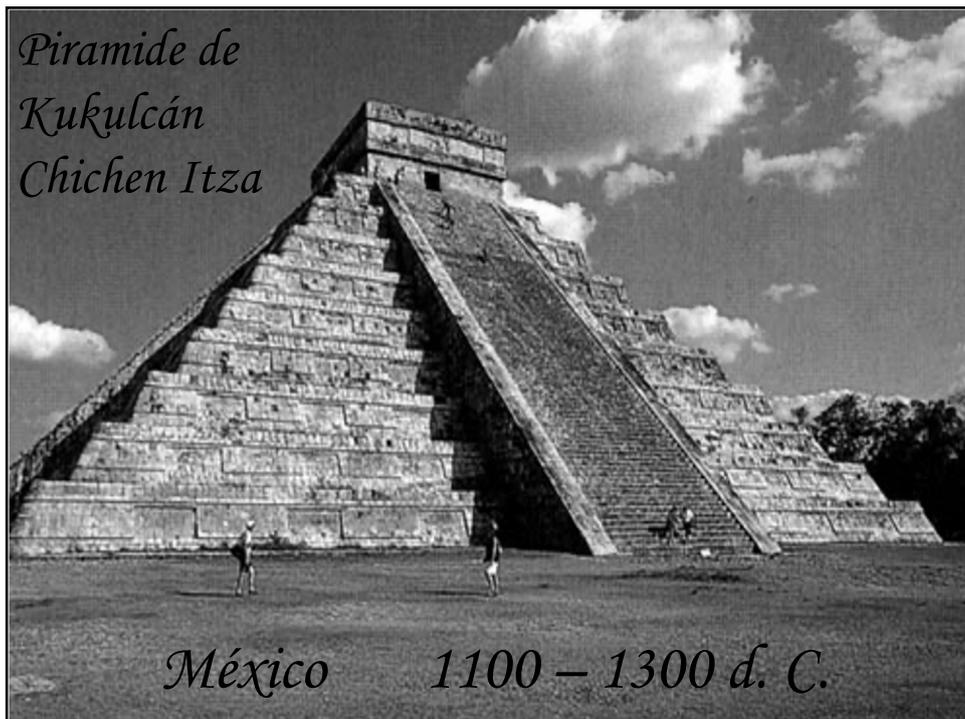


Pirâmide escalonada de Djeser

8



9



10

Catedral de N^otre Dame



1163 - 1330

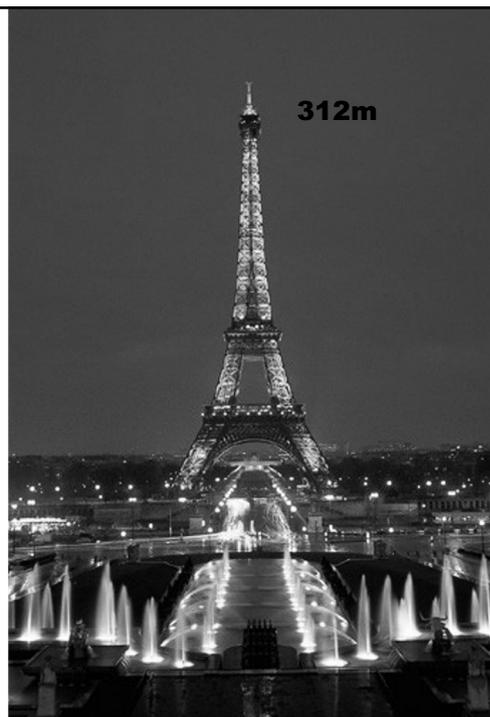
Bóvedas de la nave central → 35m de altura

11

“Gustave Eiffel”

1889

“Tour Eiffel”



12

**Panteón
de
Roma**



13

**Cúpula do Panteão
Século II dC → Diâmetro de 47m**



14

**SIGLO XX
1900**

**APARECE UN
NUEVO MATERIAL**

Hormigón Armado

15



16



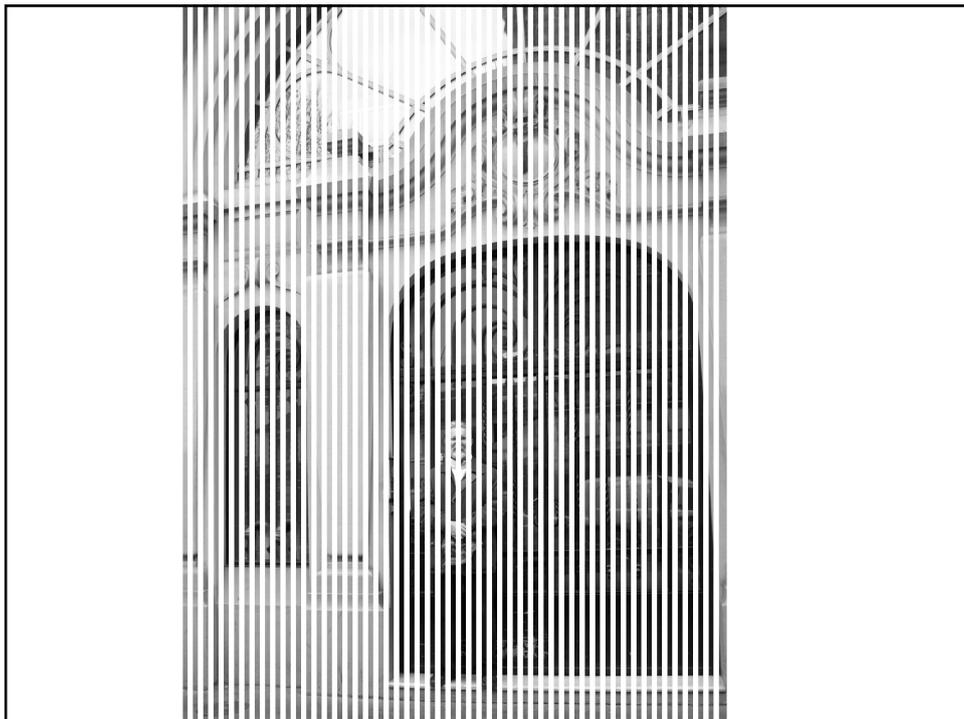
Systeme Hennebique
Paris, Rue Danton, 1

7 pisos
Francia 1901
Altura 30 m

$f_{ck} = ?$
106 años !!!!

*Edificio mas antiguo
del mundo*

17



18



Palacio Salvo
Montevideo

27 pisos

Uruguay 1925

Altura 103 m

$f_{ck} = ?$

80 años !!!!

record mundial

19



Edificio
Martinelli

1929

106m

record
mundial

20



**Ier. CONGRESO DE ESTRUCTURAS,
PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS Y MATERIALES**

Análisis de Accidentes

El mejor aprendizaje!

21

Robert Stephenson en el discurso de pose de la presidencia del Instituto de los Ingenieros Civiles de Gran Bretaña en 1856:

“...tengo esperanza de que todos los accidentes y problemas ocurridos en los últimos años hayan sido registrados y divulgados. Nada es tan instructivo para los jóvenes ingenieros como el estudio de los accidentes y de su solución. El diagnóstico de estos accidentes, la comprensión de su origen y mecanismo, es más valioso que la descripción de los trabajos con éxito. Con este noble objetivo es que propongo la catalogación de estos accidentes en los archivos de esta reconocida Institución...”

22

IBRACON

Túneles

23

**Estación Pinheiros
de Metro**

12 de enero de 2007

São Paulo, SP

Túnel Urbano en roca

24



25

AUTOFAGIA À PAULISTA

TRAGÉDIA A cratera do Metrô é o símbolo do impulso autodestrutivo de São Paulo

POR ANA PAULA SOUSA E SÉRGIO LIRIO

São Paulo não para. São Paulo, a locomotiva do Brasil, São Paulo, terra de oportunidades. São Paulo, a cidade que mais cresce no mundo. O que os slogans da maior aglomeração urbana da América do Sul, amontoado de gente, carne e concreto que um dia se pareceu com um círculo, traduzem neste início de século? Nada. Essa São Paulo operosa, individualista e antiestatal, convicida de que suas mazelas resultam exclusivamente da "corrupção de Brasília" e da "ineficiência da porção Norte do País", foi confrontada com sua imagem real na sexta-feira 12.

Passava um pouco das 3 da tarde quando um deslizamento de terra nas obras da estação Pinheiros da Linha 4 do Metrô, na zona oeste, abriu uma cratera de 40 metros de diâmetro às margens da Marginal, destruiu casas, tragondo veículos e deixou um saldo de sete mortos. As chaves e o risco de novos desabamentos têm atrasado os trabalhos de resgate. No início da noite da quinta-feira 18, os bombeiros conseguiram descolar a minivan que atrapalhava as escavações. Mais dois corpos foram retirados. Outras duas vítimas continuavam soterradas nos escombros.

Do ponto de vista técnico, só as perícias que devem demorar no mínimo quatro meses para ser concluídas, poderão apontar com precisão as causas do desastre. Boa parte das especulações feitas no calor dos acontecimentos será obviamente, descartada.

Mas, a despeito dos laudos periciais, focados em apontar os motivos do acidente na estação Pinheiros, sobram indícios de que a obra do Metrô, realizada ao longo de 13 quilômetros, avançou em circunstâncias que moldou a expansão urbana de São Paulo nas últimas décadas: transferência de controle para a iniciativa privada, desmonte do aparato de fiscalização do poder público e falta de transparência. Talvez, as-se, portanto, de um questionamento que transcenda o caso e se volte aos modelos de planejamento urbano que permitiram que se deram essas condições.

A licitação da Linha 4, feita sob

LEITE DERRAMADO.
Agora, a ação de Kassab e Serra é inevitável

Foi preciso sete mortes para se discutir os problemas na construção

AGUJERO DEL METRO – Carta Capital nº 428 **21 de Enero de 2007**

26

Túneles de la carretera “ Rodovia dos Imigrantes”

Túnel en suelo Túnel en roca

*enfilage; tirantes; cambotas; fuego; invert; convergencia;
asentamientos, recalque; asentamiento; revestimiento
primario; revestimiento secundario o definitivo; drenaje*

27

Estación Pinheiros Metro SP

Visión General

Dic. 2006

28

O POÇO DA LINHA 4...

12,8 quilômetros de extensão

11 estações (Luz até Vila Sonia)

900 000 passageiros serão transportados por dia

5 empreiteiras formam o consórcio responsável pela construção (CBPO Engenharia, Queiroz Galvão, OAS, Camargo Gorra e Andrade Gutierrez). A CBPO, subsidiária da Odebrecht, lidera o consórcio

1,8 bilhão de reais é o custo da obra

1,3 bilhão de reais é o valor da apólice de seguro

2 700 homens trabalham na execução da Linha 4

120 deles na Estação Pinheiros

7 acidentes (com uma morte) já haviam ocorrido envolvendo a linha

2008 é o ano previsto para a conclusão de seis estações. A segunda fase deve ir até 2012

Duro de roer
Por estar próximo ao Rio Pinheiros, o solo apresenta camadas de areia, argila e rochas cheias de fissuras

1,5 metro de asfalto e solo orgânico

6 a 8 metros de areia e argila

Até quatro explosões por dia
Para escavarem os túneis da Estação Pinheiros, as empreiteiras adotaram o método New Austrian Tunneling Method (NATM). Trata-se de detonações com explosivos e pequenas escavadeiras para abrir caminho. Eram feitas quatro explosões por dia até dezembro. Foram reduzidas para uma neste mês. A medida que o buraco avançava, os operários colocavam uma tela de aço e jateavam concreto nas paredes e no teto. No segundo semestre, a estrutura receberá uma nova cobertura de concreto, mais resistente

EXPLOSIVOS

Por dentro da Estação Pinheiros
40 metros
32 metros
Marginal Pinheiros
Estação Faria Lima
Estação Butantã
Espaço com a CPTM

Estação Pinheiros fotografada em 12/12/2006

60,2 quilômetros em 32 anos

Inauguração do metrô paulistano	1974
Extensão atual (em quilômetros)	60,2
Número de linhas	4
Número de estações	54
Passageiros transportados por ano	513 milhões

TRAGEDIA DEL METRO – Veja Año 40 nº3 **24 de Enero de 2007**

29

Cronologia de los Acontecimientos

Fuentes: Folha de São Paulo, Estado de São Paulo, Veja, Época, Isto É, Carta Capital.

30

1. Pozo o shaft → 42m diámetro y cerca de 30m de profundidad, en el centro de la Estación (extensión total aprox.. 130m);
2. 11/11/05 → inicio del pozo, siendo 14m en suelo con espesor de 30cm, avances 1m, hormigón proyectado armado con tela metálica. Restantes 12m desmonte de la roca, paredes con hormigón proyectado de 35cm, 3 camadas de tela metálica;
3. Túneles de la Estación → 45m para cada lado, con bóveda de 6m y ancho de 18m;
4. 29/03/06 1º proyecto → desmonte de la roca, con tirantes malla de 2m por 2m, con 4m de largo inyectados con resina, hormigón proyectado con fibra con 15cm. Pared del invert de 4m con hormigón proyectado con fibras de 15cm, con eventual tirante;
5. 24/07/06 → inicio de la excavación a fuego de la bóveda;

31

26/5/2006

Correspondência interna do Metrô mostra que moradora do número 87 da Rua Capri reclama há oito meses “de trincas e rachaduras na casa toda”

A senhora Carmen reclama que há trincas e rachaduras pela casa toda, as paredes estão descascando, está entrando água pelo telhado, as telhas estão rachadas, e tem óleo espalhado (devido ao maquinário utilizado pela obra) pela rua e seu quintal, diz que não pode lavar roupa tem medo de cair no quintal como já ocorreu. Esses problemas já ocorrem há 8 meses e ninguém resolveu até agora.

Ass: Lúcia e Mécia, boas dia!

A senhora Carmen reclama que há trincas e rachaduras pela casa toda, as paredes estão descascando, está entrando água pelo telhado, as telhas estão rachadas, e tem óleo espalhado (devido ao maquinário utilizado pela obra) pela rua e seu quintal, diz que não pode lavar roupa tem medo de cair no quintal como já ocorreu. Esses problemas já ocorrem há 8 meses e ninguém resolveu até agora.

Clie: Já esteve no posto atendimento (1854105) com a mesma reclamação.

Divisão de Atendimento:
 Nome: Cleonice de Lencini
 Endereço: Rua Capri, 87
 CxP: 05424-050
 Bairro: Pinheirão
 Telefone: 3813-4530

Atenciosamente: Lúcia Viana

Muchas reclamaciones de inquilinos y propietarios de las casas en las proximidades

32

6. 04/08/06 2º proyecto → desmonte de roca, enfilage metálica con 12m + cambotas metálicas + cpfm con 35cm. Pared del invert con 4m, con 15cm cpfm, con eventual tirante;
7. 09/11/06 → Fin de la excavación a fuego de la bóveda;
8. 01/12/06 → inicio de la excavación de la pared del invert, comenzando del túnel de vía para la estación (pozo);
9. 14/12/06 3º proyecto → pared del invert con 15cm de espesor + tela metálica L396 y hormigón proyectado $f_{ck} = 25\text{MPa}$;

33

ACCIDENTE DEL METRO – Época nº 453 22 de Enero de 2007

34

10. **Monitoración de convergencia, divergencia, asentamientos internos y externos, diariamente disponibles vía Internet al otro día temprano;**
11. **Fiscalización diaria: ing. supervisor + júnior + técnico, nada registraron de no conformidad en ese trecho;**
12. **10/01/07 → mediciones indicaron convergencia que persistieron en el día siguiente imponiendo la necesidad de refuerzo. Es observada una falla (fisura) vertical paralela al eje de la vía. Observada fisura transversal al lado de una de las cambotas, tapada con concreto proyectado;**
13. **10/01/07 → mediciones indican recalques y asentamientos de 3mm a 62mm todos con evolución reciente creciente. Calle Capri 21mm;**
14. **11/01/07 → faltan 3m para terminar pared del invert junto al pozo;**

35

15. **11/01/07 → Inicio de la perforación para lograr el refuerzo del túnel con uso de tirantes de 3m de largo en malla de 1,6m por 1,6m en 3 alturas (lineas) de la pared del invert, siendo la primera junto de la base de apoyo de las cambotas;**
16. **12/01/07, 8:30h → avance a fuego con dinamita para romper la roca de los 3m faltantes del desmonte de la roca del invert;**

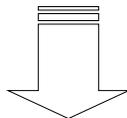
36

- 18. 12/01/07 14:25h → inicio de caída de fragmentos de hormigón proyectado de la bóveda, además del aumento de la fisura de 2cm aparecida el día anterior, con ruidos típicos de colapso del concreto y roca;
- 19. 12/01/07 14:35h → suena la alarma y 37 operarios huyen, algunos por el ascensor del pozo y otros corriendo por el túnel de vía;



39

12/01/07 14:50h



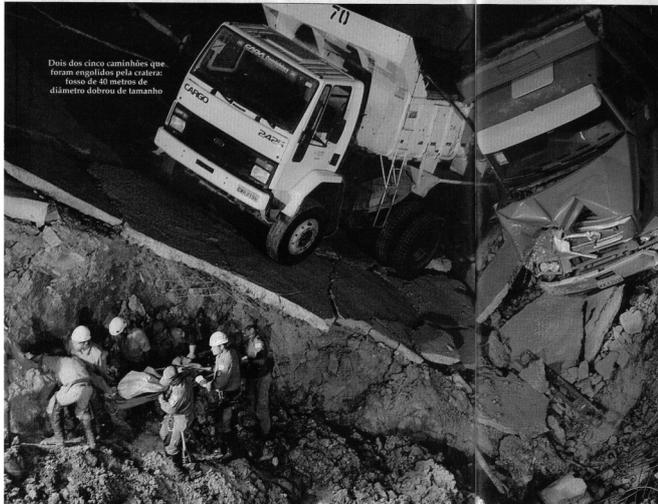
la pared del pozo se desmorona y lleva 5 camiones y 3 autos. También colapsa la calle Capri que traga consigo un micro-ómnibus.

Saldo

**7 muertos, 55 casas inhabilitadas, 132 Inquilinos y propietarios desalojados
400 personas trabajan en el rescate.....**

40

A TRAGÉDIA DA ESTAÇÃO PINHEIROS



Dois dos cinco caminhões que foram engolidos pela cratera: furos de 40 metros de diâmetro dobrado de tamanho

Veja São Paulo ouviu 28 especialistas e levantou as possíveis falhas e as grandes dúvidas no acidente do metrô que deixou pelo menos seis vítimas e chocou os paulistanos

MARCELLA CINTO/ANTUNIL ROBERTO BRANCATELLI
E SANDRA SOARES

Com apenas 60,2 quilômetros de extensão e 513 milhões de passageiros transportados por ano, o metrô de São Paulo tem proporcionalmente a maior densidade de usuários do mundo. Apesar do tamanho insuficiente, é um dos orgulhos do paulistano: pela rapidez, segurança, conforto e limpeza. Na sexta-feira (12), quando deu início o canteiro de obras da futura Estação Pinheiros da Linha 4, que ligará as regiões da Lapa, no centro, a Vila Sônia, na Zona Oeste, a cidade entrou em choque. O fosso de 40 metros de diâmetro, aberto para a escavação do túnel, dobrou de tamanho. A capital pensou diante das inacreditáveis imagens e ficou abalada com um acontecimento inimaginável, no qual a primeira coisa a acontecer é a perda de vidas. Seis pessoas foram atingidas pelo buraco e seus parentes experimentam um amargo pesadelo. A Marginal Pinheiros teve um de seus trechos interditados por três dias. Cerca de quarenta famílias que moram no entorno estão deslocadas.

Não por menor momento, o consórcio das cinco maiores empresas do país encarregado da construção da Linha Amarela atribuiu o acidente ao excesso de chuvas — uma explicação “sútil”, como bem definiu o procurador-geral de Justiça de São Paulo, Rodrigo Pêgas. “Houve erro, sim”, afirmou. “Resta saber se foi no projeto ou na execução.” Segundo especialistas ouvidos por *Veja São Paulo*, não indica que a construção deu sinais de que algo estava errado e esses sinais não foram bem avaliados pelas empresas. “Um acidente dessas proporções nunca tem um único motivo”, aponta o engenheiro Roberto Kocher, professor do Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. “São vários fatores, como aconteceu na colisão aérea entre o Legacy e o avião da Gol”. Pela complexidade de obras dessa magnitude, ocorrências como a da Estação Pinheiros são mais comuns do que se pensa. Desde 2000, nove acidentes aconteceram no mundo durante escavações subterrâneas. Só em 1999, por exemplo, houve tragédias parecidas na Inglaterra, na Turquia, na Itália e na Coreia do Sul.

Apesar desse perigo gravíssimo, das mores e da alteração da rotina de quem reside perto dos canteiros, a cidade não pode sofrer com a paralisação de uma obra tão importante. Com a conclusão do ramal 4, prevista para 2012, São Paulo encosará na marca dos 78 quilômetros de linha. Ainda que não seja tão concorrido como outras metrópoles, como Nova York (398 quilômetros), Paris (212 quilômetros) ou Cidade do México (201 quilômetros), isso representará um avanço e uma melhoria na qualidade de vida de milhões de cidadãos. Com custo estimado de 1,8 bilhão de reais, a Linha 4 saiu do papel graças a uma parceria público-privada (PPP), que combina investimentos das duas esferas em grandes projetos de infraestrutura. Espera-se que o episódio da cratera tenha deixado lições e que, mesmo com o atraso, mas com segurança, a Linha 4 seja concluída.

TRAGEDIA DEL METRO – *Veja* Ano 40 nº3

24 de Enero de 2007

41

● 23/1/2007

As casas da região do desabamento são demolidas. Entre elas, a de número 87, de Carmen de Leoni



42

Proyecto

Previsión de Recalques y Distorsiones

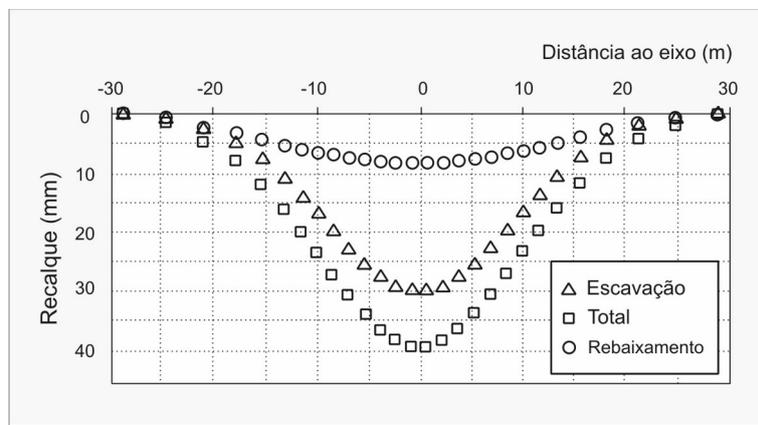
desplazamientos esperados en la superficie = rebaje de la napa freática (método de los elementos finitos) + recalques inducidos por la excavación (método de Peck)

- para excavación en suelo;
- para excavación en roca

43

Bacia de Recalques o Asentamientos

Sección en Suelo

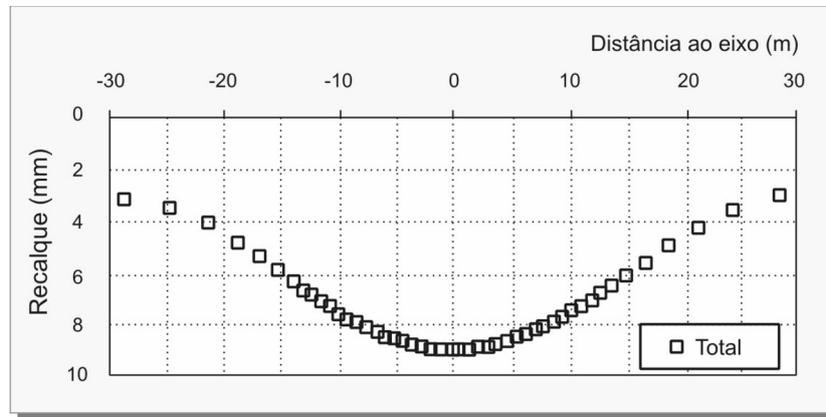


Curvas de desplazamientos verticales – secciones en suelo

44

Bacía de Recalques o Asentamientos

Sección en Roca



Curvas de desplazamientos verticales – secciones en roca

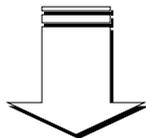
45

Recalques y Distorsiones

encontrados dentro del
área de influencia de la
obra, 45°

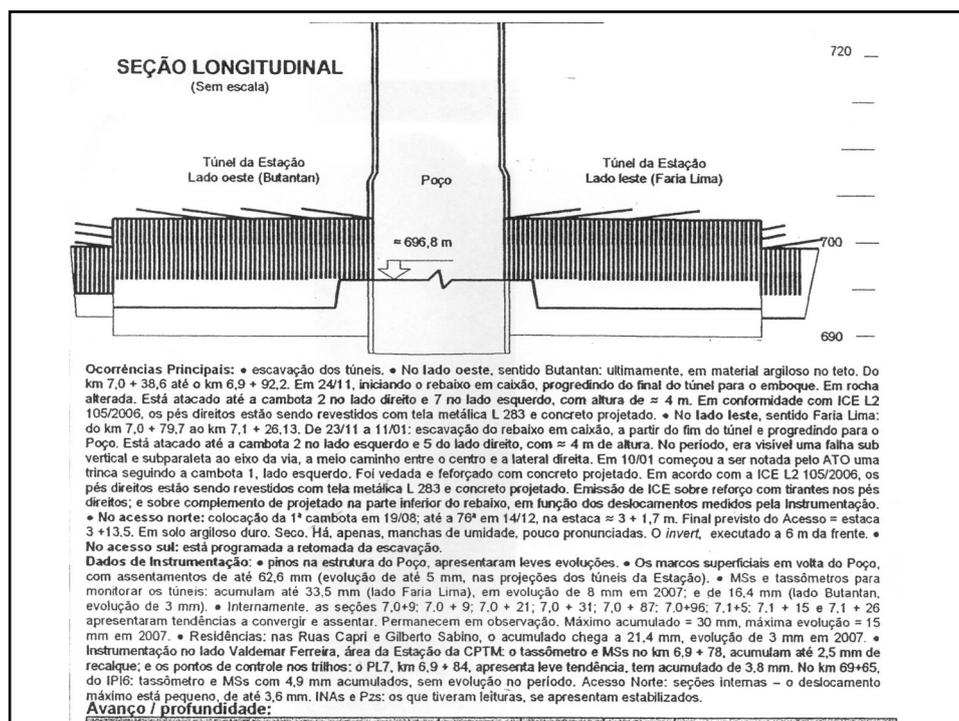
46

Recalques medidos



**2,5mm a 62mm
junto al pozo en las
vísperas del accidente**

47



48

Criterios de Evaluación de Daños en los Edificios

Recalque diferencial específico-distorsiones (δ/L)

49

6. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DE DANOS NAS EDIFICAÇÕES

Em primeira aproximação, os recalques diferenciais específicos (δ/L) foram adotados como critério de verificação da estabilidade dos edifícios, em face das deformações a serem induzidas pelas escavações. Como limites de recalques diferenciais específicos, o Metrô de São Paulo tem proposto os valores relacionados a seguir, que dependem, naturalmente, do arranjo estrutural das edificações e dos danos admissíveis:

- $\delta/L = 1/500$ – limite para edifícios com esqueleto estrutural onde a fissuração dos painéis não é permitida;
- $\delta/L = 1/300$ – início de fissuração dos painéis de alvenaria de edifícios com esqueleto estrutural;
- $\delta/L = 1/250$ – inclinação visível em edifícios altos;
- $\delta/L = 1/150$ – início de dano estrutural. Quando a estrutura é travada em diagonais, este limite é de $1/600$;

onde δ e L representam, respectivamente, a diferença de recalques e a distância entre dois pontos.

Bjerrum (1963), propõe os seguintes valores, igualmente experimentais:

- $1/750$ – afetam máquinas sensíveis a recalques.
- $1/600$ – riscos significativos para estruturas aporticadas com diagonais.
- $1/500$ – limite para edificações, onde não se admite fissuras.
- $1/300$ – limite para situações onde pequenas fissuras em painéis de paredes são toleradas, ou onde se esperam dificuldades em pontes rolantes.
- $1/250$ – limite para situações onde o desaprumo de edifícios altos pode ser perceptível.
- $1/150$ – fissuração significativa em painéis de paredes e de tijolo. Limite de segurança para paredes flexíveis de tijolos, onde $h/L < 1/4$. Limite para os casos onde pode ocorrer danos estruturais.

50

Na presente análise, com base nessas informações e em experiências anteriores, adotou-se os seguintes valores de referência:

• **Distorção: $\delta/L < 1:500$**

Os danos resultantes podem ser classificados como pequenos, resultando no surgimento de trincas discretas facilmente tratáveis, com aberturas inferiores a 5mm. Portas e esquadrias podem apresentar dificuldades de funcionamento.

• **Distorção: $1:500 < \delta/L < 1:300$**

Neste intervalo, os danos podem ser considerados como moderados, observando-se o surgimento de trincas, com aberturas entre 5 e 15mm. Intervenções de substituição de partes localizadas de alvenaria poderão ser necessárias. Portas e esquadrias apresentarão dificuldades de funcionamento.

• **Distorção: $\delta/L > 1:300$**

Para valores de distorção superiores a 1:300 os danos podem ser considerados como severos. Prevê-se a necessidade de reconstituições estruturais mais importantes, tal como remoção e reposição de paredes, decorrentes de desaprumos. A abertura das trincas deverá situar-se entre 15 e 25mm.

51

Hipótesis del Accidente

- 1. Colapsa el arco superior del túnel de la estación (rompe la bóveda de roca revestida de hormigón) y se derrumba;**
- 2. En la secuencia traga el suelo blando abriendo un “crater” en la calle Capri y tragando el micro-ómnibus;**
- 3. Por segundos la ruptura de ese suelo “alivia las tensiones”, parcial y localmente, en la pared del shaft o pozo de trabajo;**
- 4. Como consecuencia son generadas tensiones elevadas de flexión en la pared del cilindro (pozo) que rompe;**
- 5. En la secuencia el suelo “resbala” para dentro del pozo;**
- 6. A pesar que la mítica decía existir un cráter de 80m de diámetro, en la verdad siempre fueron dos cráteres;**

52



53

Causas Posibles

1. La roca del techo del túnel de la estación, no tenía la resistencia admitida de proyecto;
2. La roca no tenía el espesor admitido en el proyecto;
3. La roca tenía fallas geológicas y discontinuidades localizadas y desconocidas;
4. El monitoramiento de los recalques y deformaciones no fueron adecuados ni precisos;
5. Ese monitoramiento fue adecuado mas faltó rapidez en el gerenciamiento de las informaciones y los proyectistas no fueron debidamente comunicados a tiempo de intervenir;
6. Todo estaba adecuado: proyecto, roca, monitoramiento, mas la construcción se equivocó en la dinamita; o explotó mucha carga en un solo lugar correcto o se dinamitó un local indebido o se aumentó exageradamente la frecuencia de explosiones;

54

Causas Posibles

7. El proyecto del túnel estaba equivocado e inconsistente;

***En fin, dudas no faltan.
Deben haber muchas otras .
Aun hay mucho trabajo de
investigación.....***

55

**Excavaciones
para el Metro de
PEQUIN
marzo de 2007**

6 víctimas fatales

56

Serviços de resgate só tiveram acesso ao local 12 horas depois do desabamento
Um buraco na obra do metrô de Pequim desabou deixando seis operários soterrados.

O acidente ocorreu na manhã da quarta-feira às 09h30min do horário local (22h30min de terça-feira em Brasília).

A empreiteira responsável pela construção escondeu o acidente e os serviços de resgate só tiveram acesso ao local 12 horas depois do ocorrido.

O buraco tinha 20 metros de largura e 11 de profundidade e fazia parte do canteiro de obras da linha número dez que está sendo construída no noroeste da cidade para atender às Olimpíadas.

Autoridades disseram que há poucas chances de encontrar sobreviventes.

57

Responsabilidade

Segundo informações do jornal *China Daily*, A China Railway 12th Bureau Group Co. que é responsável pela obra, não notificou os serviços de emergência como deveria. Ao invés disso, a empresa montou uma equipe de resgate própria.

Os funcionários escalados para participar das buscas foram obrigados a desligar seus celulares e o portão do canteiro de obras foi trancado para evitar que a notícia chegasse à imprensa.

Um operário imigrante vindo da província de Henan conseguiu escapar o cerco de sigilo e ligou para a polícia de sua região.

As autoridades de Pequim só foram avisadas do incidente às 17h (06h de quarta-feira em Brasília), quando policiais da província de Henan ligaram para a capital perguntando o que estava acontecendo, em resposta à denúncia feita pelo operário.

Uma fonte anônima da agência de notícias China News Service disse que um corpo já foi retirado da cratera na noite de quinta-feira (manhã de quarta em Brasília).

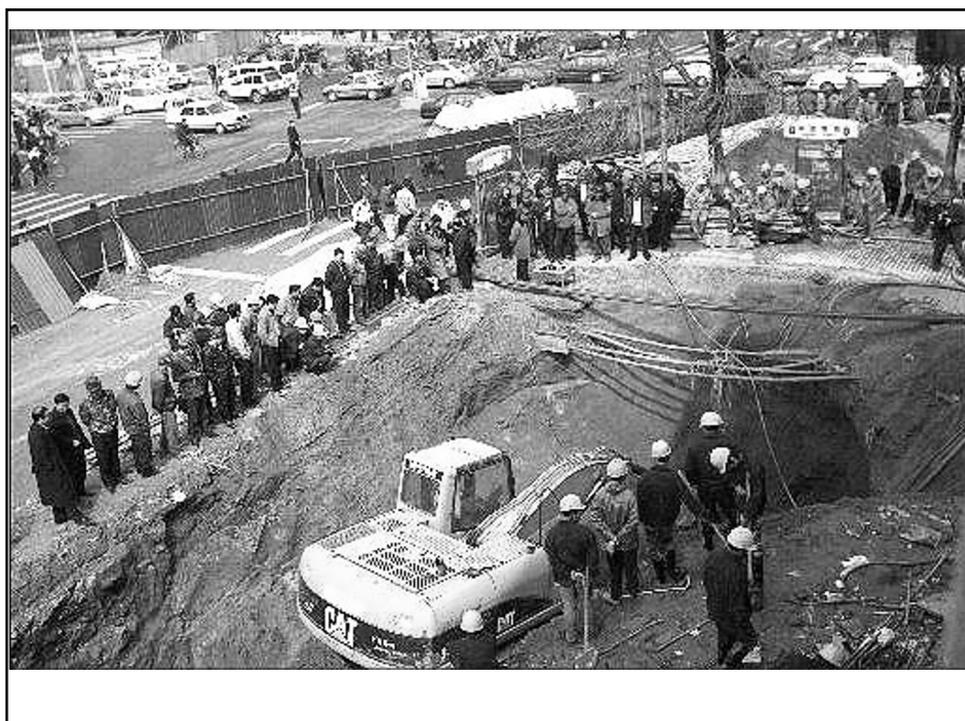
O trabalho de remoção da areia e óleo que caíram no buraco foi concluído ontem. Os encanamentos públicos próximos à área não foram afetados.

A agência Xinhua disse que as famílias das vítimas já foram notificadas e estão a caminho de Pequim. As buscas continuam.

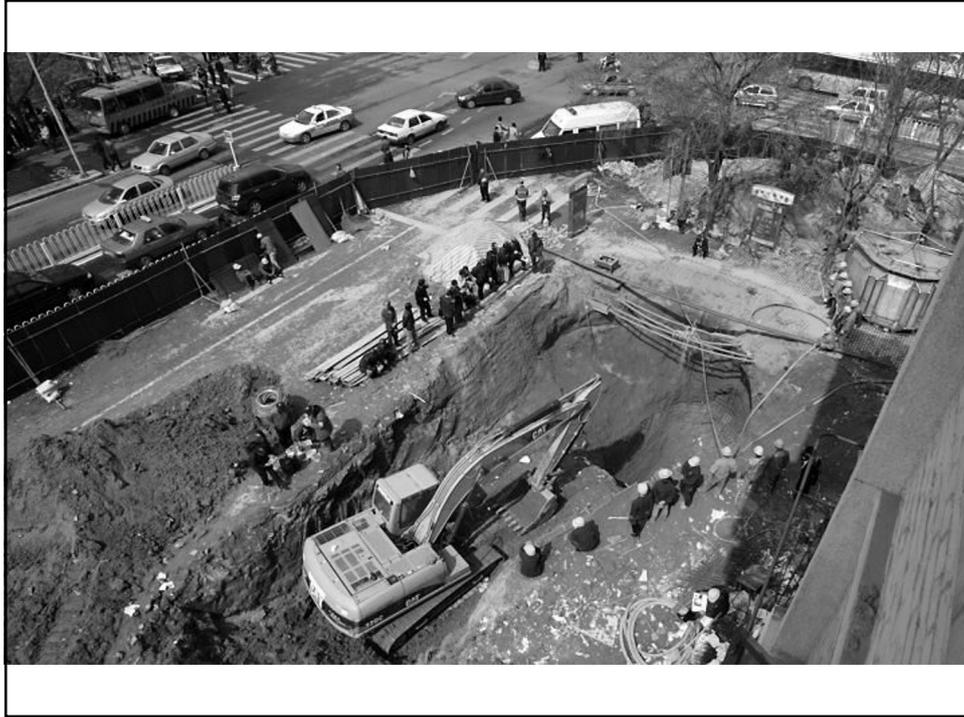
58



59



60



61

Bibliografía interesante:

1. CBT Comitê Brasileiro de Túneis www.braziliantunnelling.com.br
2. ITA → International Tunnelling Association. "Guidelines for tunnelling risk management". 2004. www.ita-aites.org/cms/index.php
3. Japanese Standard for Mountain Tunnelling. ISBN 4-8106-0274-5. 2001. 162 p. www.jsce.or.jp/publication/e/book/p273.html
4. Japanese Standard for Shield Tunnelling. ISBN 4-8106-0273-7. 2001. 218 p. www.jsce.or.jp/publication/e/book/p274.html
5. BREbookshop.com. Thomas Telford. Tunnel Lining Design Guide. British Tunnelling Society and Institution of Civil Engineers. 2004.
6. British Tunnelling Society. "Closed face tunnelling machines and ground stability - A Guideline for best practice". 2005.
7. HSE Health & Safety Executive. W.S. Atkins. "The risk to third parties from bored tunnelling in soft ground". 2006. 78 p.

62

FATOS o "LOS HECHOS"

- 2017 túneles fueron iniciados de 1999 a 2004
- 108 accidentes en túneles de 1970 a 2005
66 en NATM y 42 en no NATM

	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2005 (part)	Total
NATM	0	9	12	4	25
non-NATM	2	2	9	6	19
Total	2	11	21	10	44

Table 3.5 The numbers of identified tunnel emergency events per decade identified in this research, occurring in soft ground urban environments, divided into NATM and non-NATM tunnels.

63

HSE report conclusion:

1. Approximately 90% of the NATM tunnel incidents occurred within the uncompleted structure close to the face. Of these approximately 55% result in a surface crater;
2. Just fewer than 50% of non-NATM incidents reported resulted in a surface crater, the majority being located behind the tunnel face;
3. Of these incidents approximately 50% took place in shielded/TBM drives and approx. 50% in hand drives.

64

HSE report conclusion:

Six factors have an influence on the quality of the overall safety management system required within an underground urban construction project:

- ✓ ***Project management***
- ✓ ***Organisational, procurement and contractual arrangements***
- ✓ ***Engineering systems***
- ✓ ***Health and safety systems***
- ✓ ***The consideration of human factors***
- ✓ ***Availability and use of 'Enforcement' action***

65

HSE report conclusion:

Tunnelling in Urban Environment

Poorly drafted procurement and contractual arrangements can:

1. Conflict with statutory obligations;
2. Impose unfair and unreasonable conditions;
3. Create ambiguity, misunderstanding and doubt;
4. Create cloud areas of responsibility from the very beginning.

66

HSE report conclusion:

Tunnelling in Urban Environment

“There is no other field of civil engineering where the integration of design and construction is more important and necessary.”

67

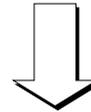
IBRACON

**Estructuras
Metálicas**

68



Las columnas no
soportaron el
peso y la esfera
ni siquiera estaba
llena (75%).



Una víctima fatal.

Después del accidente, fueron realizadas inspecciones con medición de espesores que indicaron valores alarmantes, con reducciones de espesores de 5mm a 8mm. También fueron encontrados agujeros "pites" de corrosión de hasta 10cm².

69

Diagnóstico:

- Corrosión severa en las columnas de sustentación debido a la infiltración del agua internamente a la protección contra fuego "Fire Proofing";
- Los desagües de agua, instalados en la parte superior de las columnas fueron mal proyectados, permitiendo la infiltración de agua;
- Las inspecciones anteriores, de mantenimiento preventivo, no identificaron el problema que enseñaba la proximidad del colapso.

70

....la principal causa gerencial que,
efectivamente desencadeno ese accidente,
fue

Un pésimo
mantenimiento preventivo

71

Recomendaciones

En la contratación de los servicios de inspección y mantenimiento preventivo es de suma importancia investigar sobre la competencia de la contratada para la realización de las inspecciones, ensayos, análisis e intervenciones preventivas o correctivas.

SHELL International, 2001

72

IBRACON

Edificaciones

73



Daniel G. López

El derrumbe del edificio de Gaztambide causó una víctima mortal

74

MARTES 13 de Marzo de 2001

ABC Madrid

En los últimos 26 años han fallecido 33 personas a consecuencia de derrumbes de inmuebles, cornisas, marquesinas y muros en Madrid.

El pasado 7 de marzo, un ingeniero moría al derrumbarse un edificio de cuatro plantas en la intersección de Gaztambide con Alberto Aquilera, en pleno centro de la capital y una docena de personas resultaron heridas.

75

El 22 de enero de 1999 murió una joven de 18 años al caer sobre el coche en el que viajaba un trozo de la cornisa del teatro Calderón de Madrid..

El 27 de enero de 1993, murieron 6 personas al desplomarse la marquesina del cine Bilbao, situado en la calle Fuencarral, cuando hacían cola para comprar entradas.

76

***Edifício
Palace II***

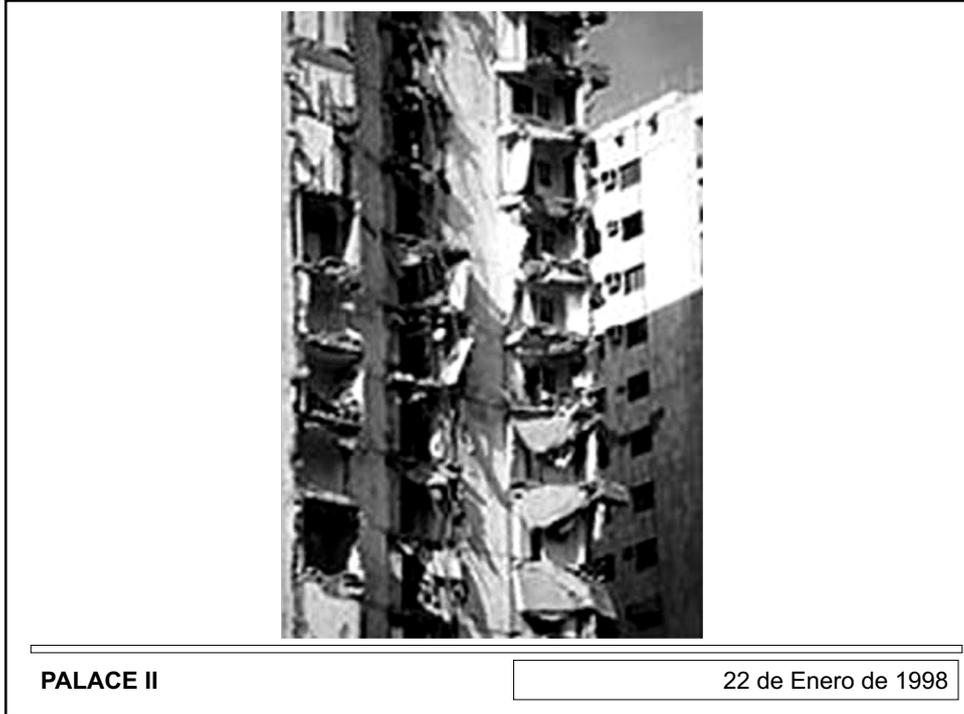
***Rio de Janeiro
Carnaval de 1998
martes por la tarde***

5 años

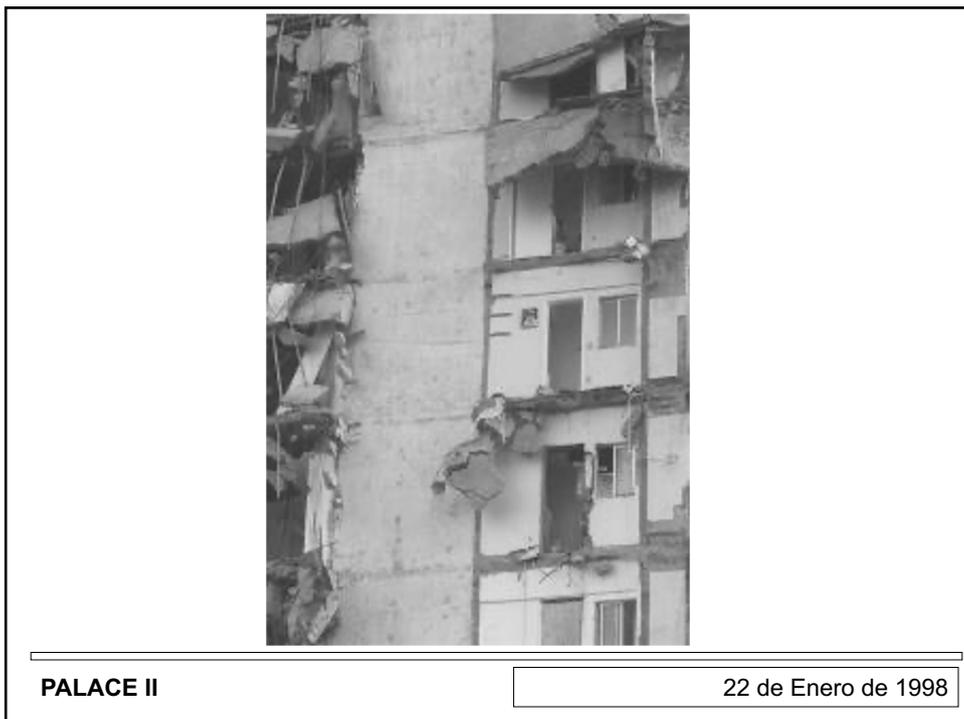
77



78



79



80



81



82



83



84



85



86

Columnas del Palace II estaban huecos, dice perito



87

Laudo aponta problemas também en el Palace I

FOLHA DE SÃO PAULO quarta-feira, 4 de março de 1998 são paulo 3 5

DESABAMENTO 4 Sersan é intimada a consertar prédio em 2 meses; para técnicos, problemas não foram provocados pela implosão

Laudo aponta problemas também no Palace 1

Editor da Anuário Imagem

Os problemas encontrados no Palace 1

- 1) Pilares em elementos estruturais: nos subsolos, nos vigas e pilares
- 2) Armaduras metálicas expostas e em adiantado estado de corrosão
- 3) Infiltrações accentuadas nas lajes do piso do pavimento térreo
- 4) Manchas generalizadas decorrentes de infiltrações
- 5) Instalações primárias hidráulica e elétrica em estado precário de utilização
- 6) Desprendimento do revestimento externo (em pedregulhos) das fachadas
- 7) Desprendimento do piso do pavimento térreo

O que a Sersan foi intimada a fazer

- substituição da rede elétrica com equipamento
- apresentação do relatório de análise de materiais especialmente sobre a capacidade do concreto e sua composição química
- apresentação do projeto de reforço estrutural, com metodologia a ser aprovada pela Secretaria Municipal de Obras (prazo de 15 dias)
- execução do reforço estrutural (60 dias) e elaboração de parecer técnico conclusivo sobre as condições de segurança (120 dias)
- retirada e recomposição do revestimento e do pavimento classificado, e serviço deverá ser executado com aparelhos para proteção aos transeuntes (60 dias)
- recuperação das instalações elétrica e hidráulica (60 dias)

FERNANDA DA ESCÓSSIA

Um laudo técnico divulgado ontem pela Secretaria Municipal de Urbanismo do Rio aponta problemas na estrutura do Palace 1 — como trincas nos pilares — e intimou a construtora Sersan a recuperar o prédio num prazo de dois meses.

Segundo o laudo, o Palace 1 — vizinho ao Palace 2, que desabou no Carnaval e foi implodido no último sábado — está com trincas nas vigas do subsolo, armaduras metálicas em avançado estado de corrosão, deformações na laje do térreo, infiltrações, instalações hidráulicas e elétricas em estado precário e desprendimento dos revestimentos da fachada do piso.

Para os engenheiros que visitaram o prédio, os problemas são estruturais e não foram provocados pela implosão do Palace 2.

O laudo afirma que o projeto de construção do Palace 1 é igual ao do prédio implodido, o que caracteriza uma situação de risco para a segurança de moradores.

“Chegamos à conclusão de que tem que ser feita uma obra rápida, para que não aconteça o colapso que aconteceu com o Palace 2”, disse Marek Iglicky, diretor do departamento de Vitória da Secretaria de Urbanismo. Segundo ele, o Palace 1 apresenta boas condições de estabilidade. Iglicky foi evasivo ao ser questionado sobre as possibilidades de um desabamento do prédio.

“A partir do momento em que mantivermos a interdição e elaborarmos um laudo, e porque a gente tem certeza de que tem condições de recuperá-lo. Não cogitamos perder mais um prédio, mas não temos bola de cristal para saber.”

A estrutura do Palace 1 está sendo monitorada por técnicos com equipamentos especializados. O prédio, interdição desde o desabamento do Palace 2, permanecerá fechado por medida de segurança, até que as obras de reforço estrutural sejam feitas.

A construtora Sersan deverá também apresentar um relatório com análise de materiais e reforçar as instalações hidráulicas e elétricas. A intimação foi enviada no escritório da construtora.

Se não começar a cumprir em 24 horas as determinações da prefeitura, a Sersan poderá ser multada em até R\$ 240.000. A multa é dobrada a cada dia de atraso.

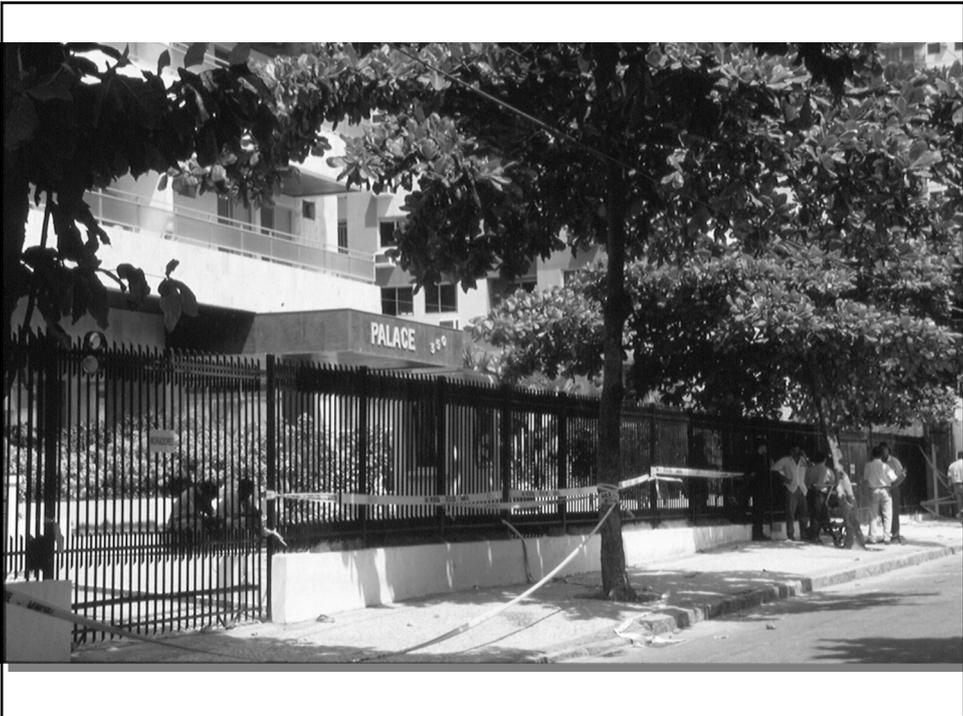
A assessoria do prefeito Luiz Paulo Coade (PFL) informou que, caso a Sersan não obedeça às determinações, a prefeitura pagará as despesas da obra e cobrará judicialmente da construtora.

O laudo divulgado ontem é apenas preliminar e não se refere a problemas referentes ao solo nem a materiais utilizados na construção. Uma empresa especializada foi contratada pela prefeitura para avaliar a composição do concreto e de outros materiais. Não há previsão para a divulgação dos laudos dos materiais e das causas do desabamento do Palace 2.

88



89



90

Edificio
Areia Branca
Recife, Pernambuco
14 de octubre de 2004
jueves a las 20:30h
1977 → 1979

25 años
12 pisos + planta baja + 1 garage

93



EDIFÍCIO AREIA BRANCA - Pernambuco

94



95



Escombros - mañana siguiente al derrumbe

96



97



98



99



100



Edificaciones Vecinas

101

Cronología:

10 → domingo → estruendo;

**12 → martes → Síndico al estacionar observa inundación
y**

fisuras en las paredes del tanque de agua;

**13 → miércoles → calculista inspecciona: fisuras en vigas,
aplastamiento albañilería. Recomienda reforzar;**

**13/14 → miércoles → muchos ruidos de rupturas metálicas
no dejan a los inquilinos y propietarios dormir;**

**14 → jueves 1:30h de la madrugada → Síndico registra
los hechos y llama a la defensa civil;**

**14 → jueves 2:40h → Defensa civil inspecciona y no
encuentra evidencias.**

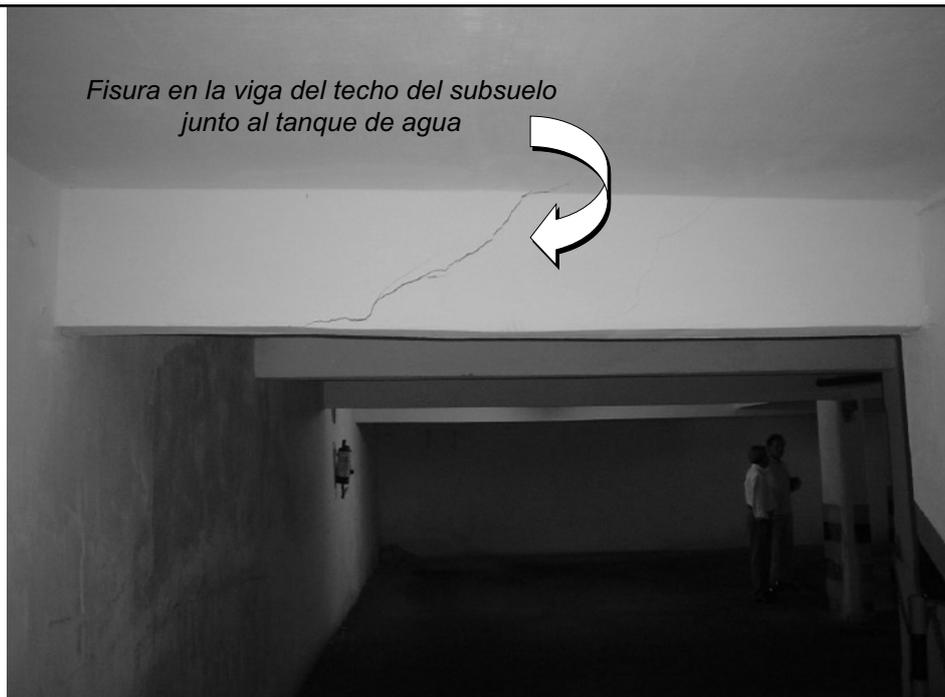
102



Vista general del subsuelo

103

*Fisura en la viga del techo del subsuelo
junto al tanque de agua*



104



105



106

Cronología:

14 → jueves 8h → Administrador y propietarios deciden abandonar el edificio

14 → jueves de mañana → Administrador apaga los ascensores y vacía los tanques de agua

14 → jueves 10:20h → Defensa civil inspecciona el edificio junto con los propietarios. Calculista y empresa de refuerzo aguardan en el local la autorización para iniciar los trabajos

14 → jueves 15h → inicio de los trabajos con excavación de las columnas centrales junto al tanque de agua

107

Cronología:

14 → jueves 17h → fisura aparece en la viga de contorno, excavación de 1,40m muestra las armaduras pandeandas del pilar

14 → jueves 19h → inicio de refuerzo del pilar con confinamiento y graute. Excavación de la segunda columna que estaba íntegra

108

Cronologia:

14 → quinta 20:20h → segundo pilar apresenta estrondo e o concreto começa a destacar fissurar. Operários e uma moradora que acompanhava os trabalhos correm para a rua;

14 → quinta 20:25h → uma série de estrondos precede o desabamento do edifício que dá uma “paradinha” no 6 andar, gira uns poucos graus e segue desmoronando-se;

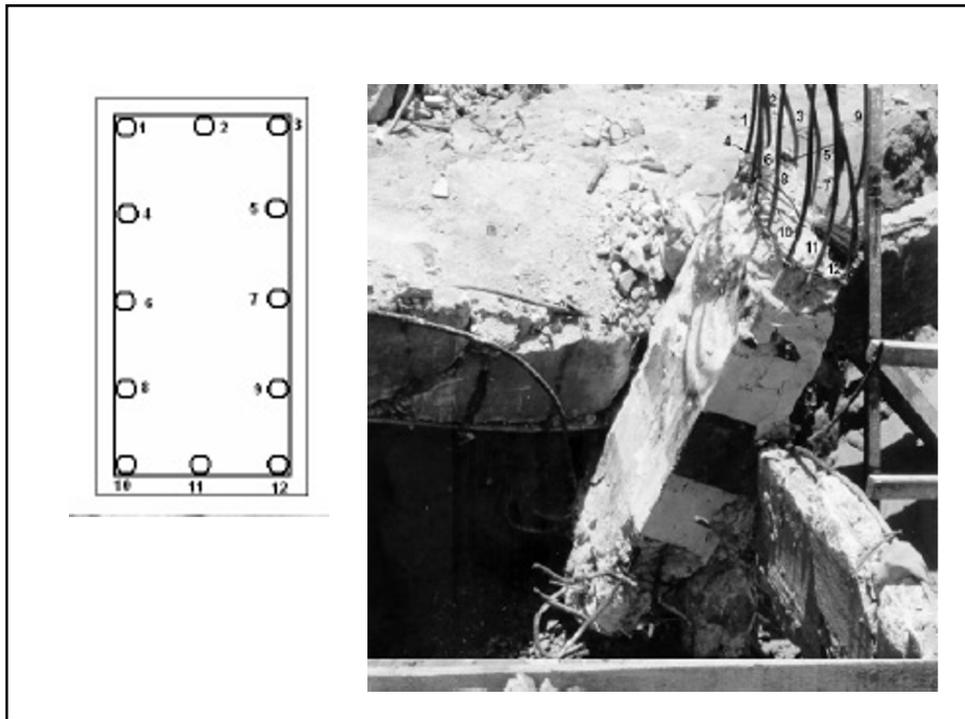
14 → quinta 20:30h → edifício totalmente desabado, 4 vítimas e inúmeros sonhos destruídos

109

Diagnóstico:

- **Proyecto ultrapasado NB 1 / 1960**
- **30 pilares (6 x 5)**
- **Fundaciones directas a -1,8m**
- **Pescuezos de pilares arriostrados por cinta 10cm x 40cm**
- **$\sigma_R = 135 \text{ kgf/cm}^2 = 13,5\text{MPa}$ media = 15MPa**
- **Recubrimientos de 1,5cm en pilares**
- **Pilares 20cm x 50cm**
- **12 barras de 16mm con estribos de 4,2mm cada 15cm**
- **Corrosión de los estribos y pandeo de la armadura**

110



111



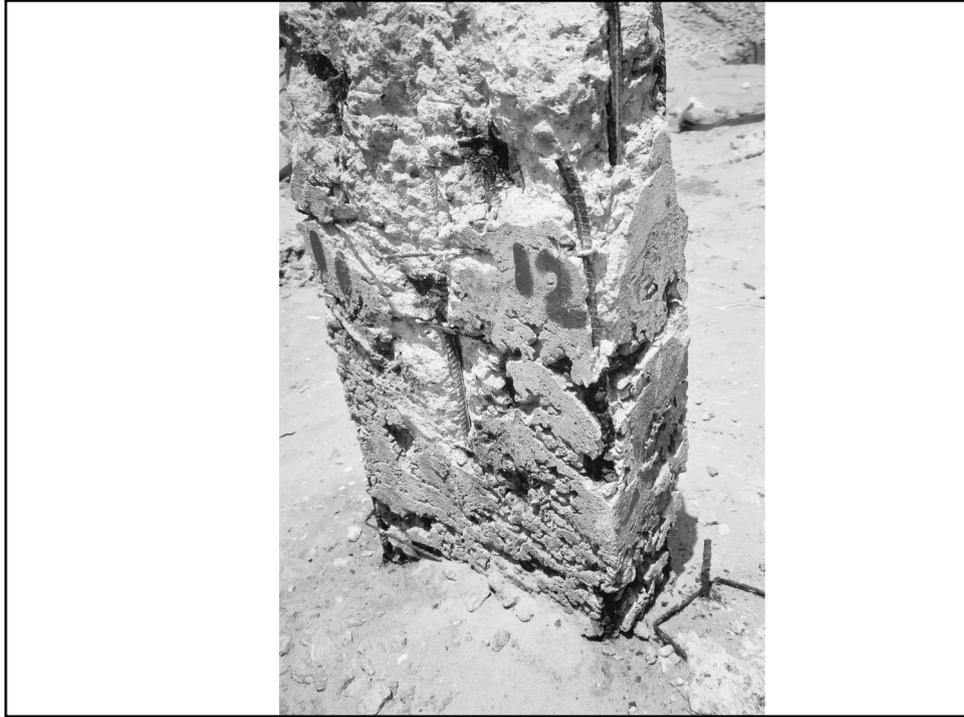
112



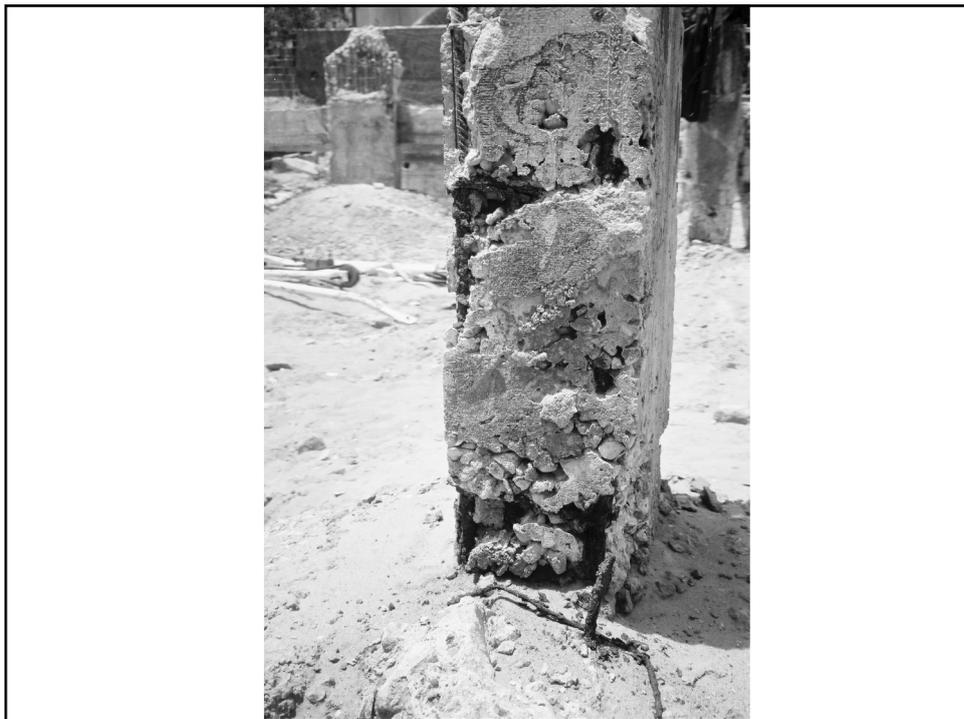
113



114



115



116



117

*Unión
Pilar - Fundación
con reducción de
la sección
transversal del
pilar*



118



Unión Pilar - Fundación con reducción de la sección transversal del pilar

119



120

Lecciones Aprendidas:

- 1. Proyectista → concepción de proyecto;**
- 2. Proyectista → especificar mantenimiento;**
- 3. Propietario → realizar mantenimiento.**

121

IBRACON

**Marquesinas
o
balcones**

122



125

Marquesina
Hotel Canadá
Copacabana
Rio de Janeiro, 2007

126



MARQUESINA DEL HOTEL CANADÁ - RJ

2006

127



CAIDA DE LA MARQUESINA DEL HOTEL CANADÁ - RJ

26 de Febrero de 2007

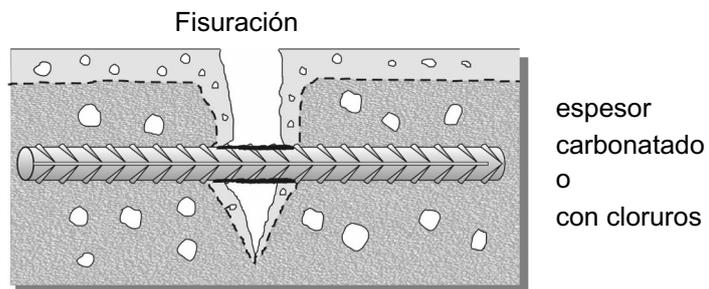
128



CAIDA DE LA MARQUESINA DEL HOTEL CANADÁ - RJ

26 de Febrero de 2007

129



NBR 6118 (+ 25%)

$\leq 0,1 \text{ mm}$ ou $0,2 \text{ mm}$ **agresivos**

$\leq 0,3 \text{ mm}$ **exteriores (rural)**

$\leq 0,3 \text{ mm}$ **interiores**

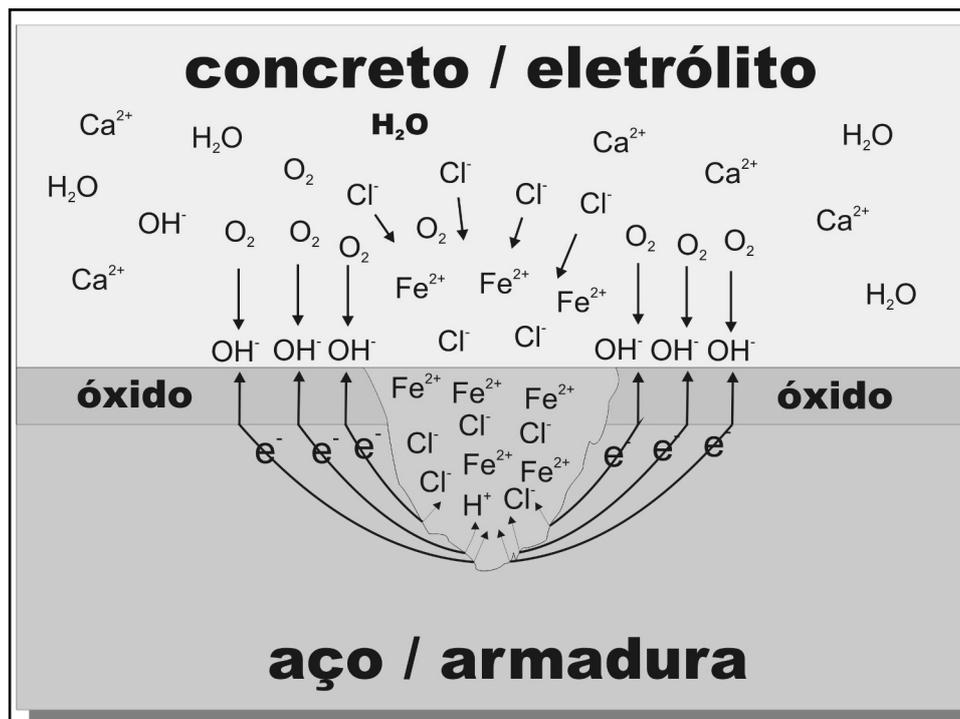
ACI 318 → não limita!

fib (CEB-FIP) $\leq 0,4 \text{ mm}$ **tanto faz!**

130

Cloruros

131



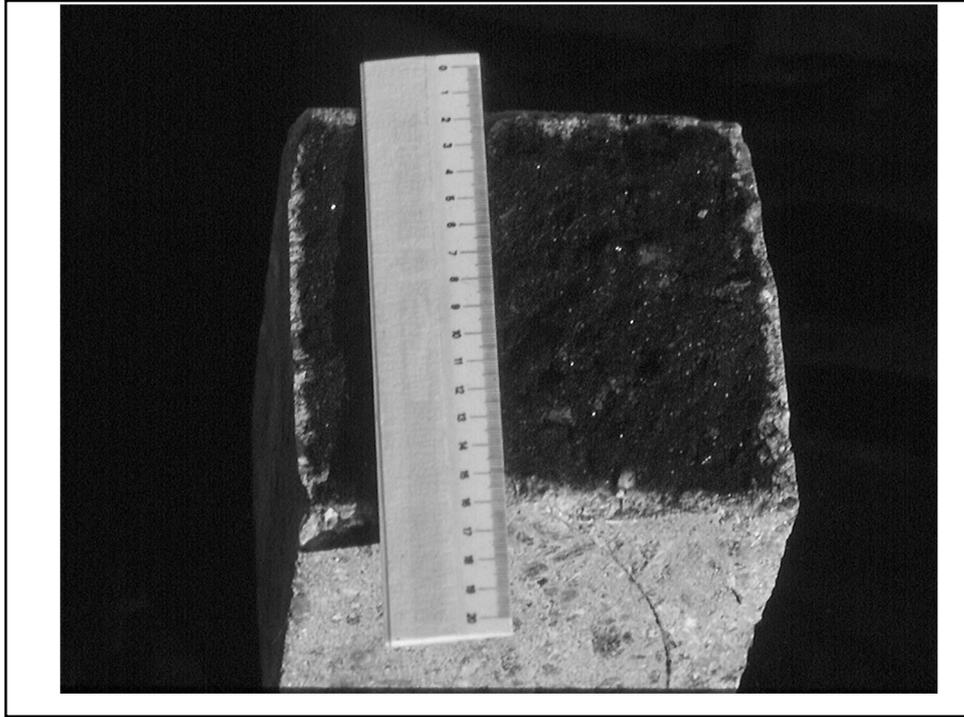
132



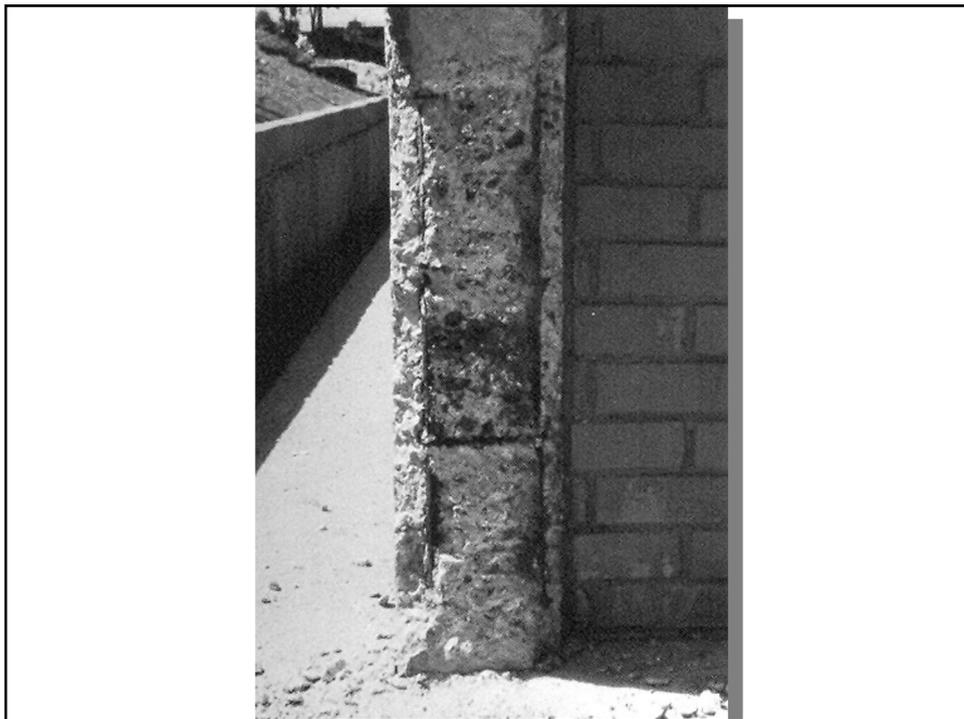
133

Carbonatación

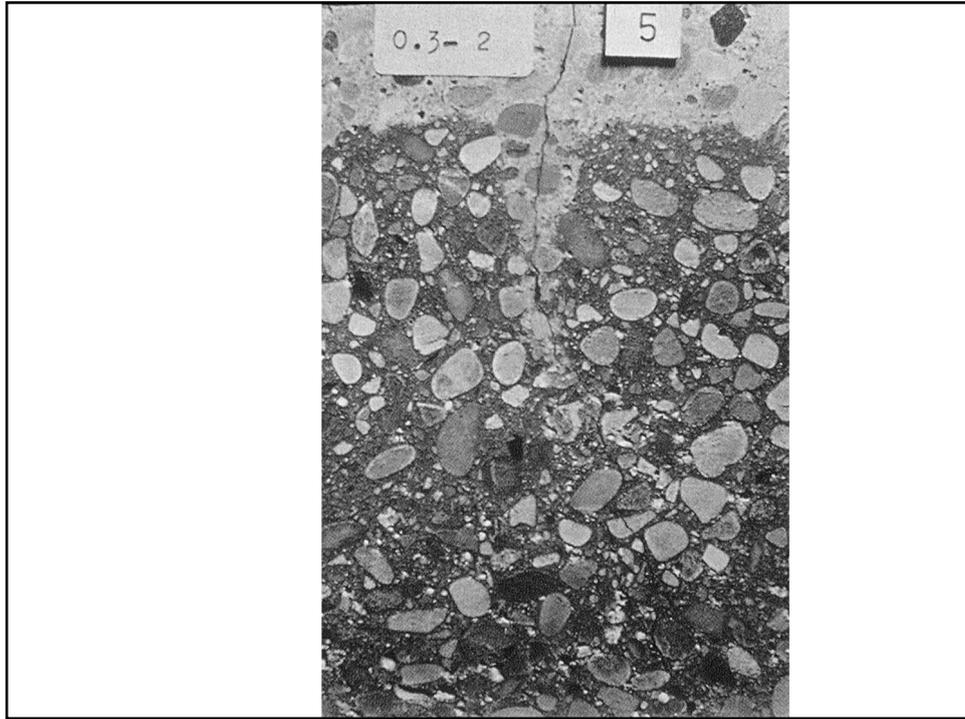
134



135



136



137

Carbonatación en la Fisura

$$d_c = k \sqrt{w \cdot t}$$

para duplicar $d_c \Rightarrow \begin{cases} w \times 4 \\ t \times 4 \end{cases}$
 para duplicar $t \Rightarrow \begin{cases} w : 2 \\ d_c \times \sqrt{2} \end{cases}$

138

Consecuencias

➤ **cloruros**

➤ **carbonatación**

139



140

Lecciones Aprendidas:

- 1. Proyectista → concepción de proyecto;**
- 2. Proyectista → especificar mantenimiento;**
- 3. Propietario → realizar mantenimiento.**

141

IBRACON

Grandes Edificaciones

142

Pavillon de Exposiciones da Gameleira

Arq. Oscar Niemeyer

Belo Horizonte, MG

Obra en Construcción

04 de Febrero de 1971

*64 muertos
mas de 100 heridos !!*

143



240m por 31m
Vigas 9,8m de altura
apoyadas en 5 pilares
Se derrumbo en la hora del almuerzo !!

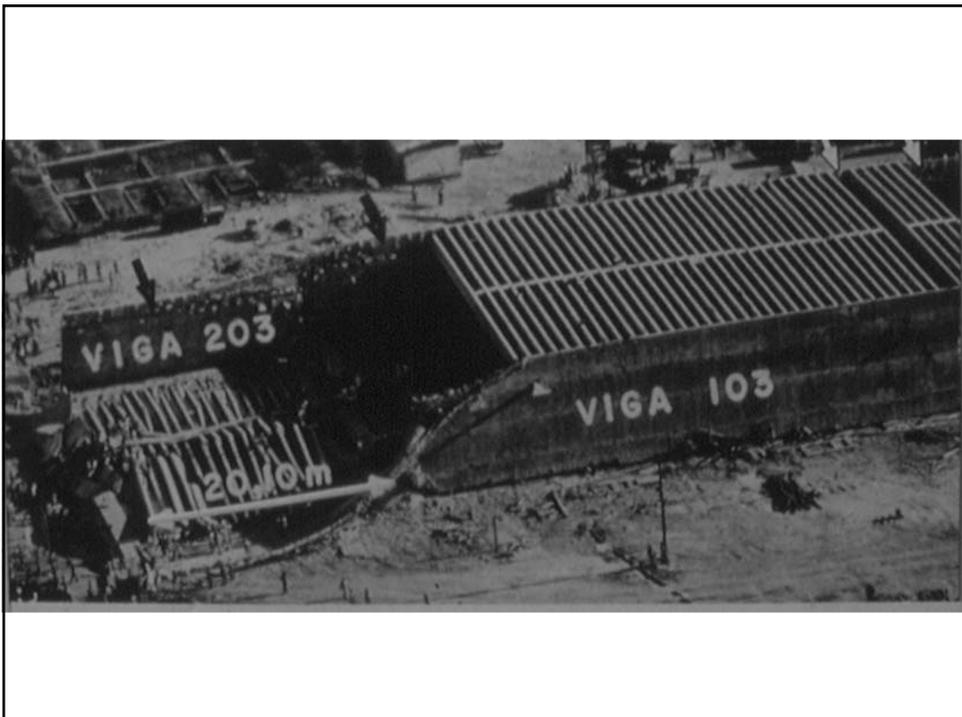
144



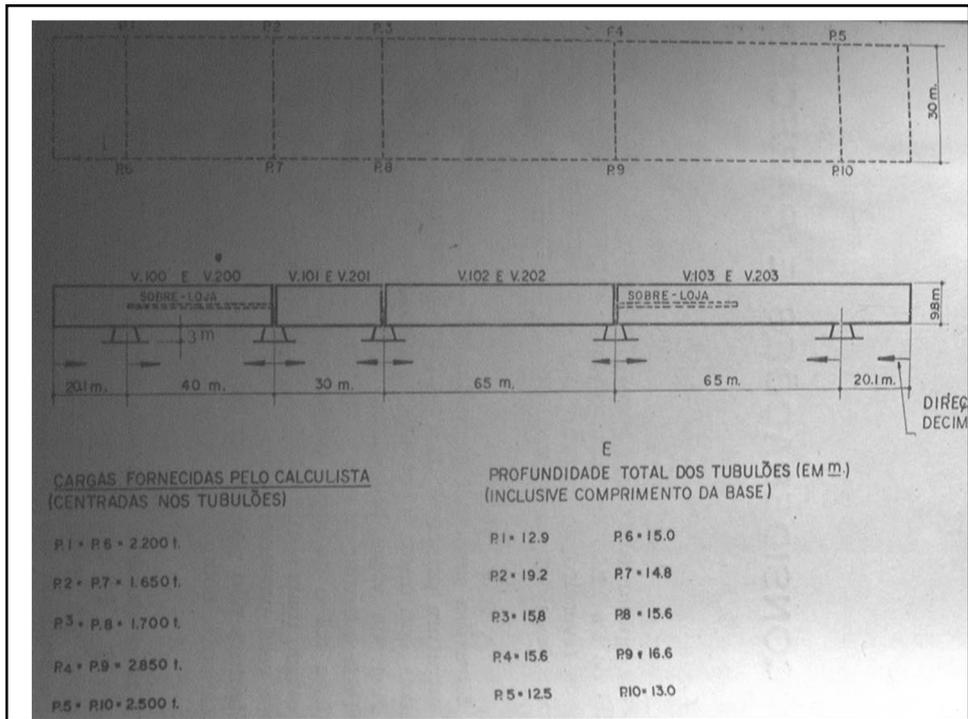
PAVILLÓN DE LA GAMELEIRA

4 de Febrero de 1971

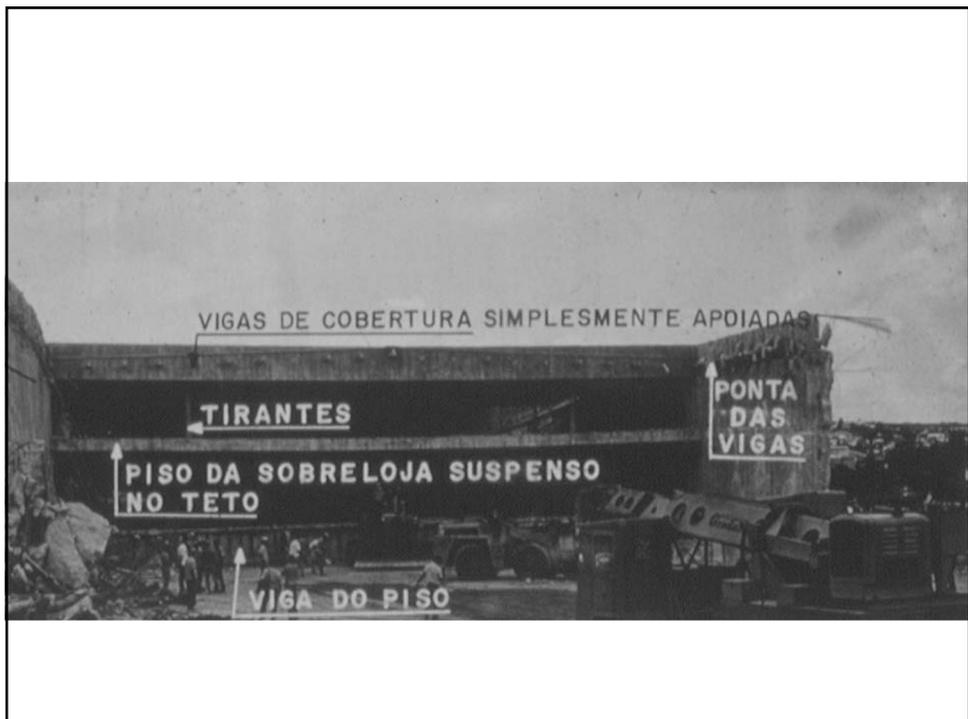
145



146



147



148

Sintomas:

- Fisuras en las vigas inclinadas finas y próximo de los apoyos;
- Cimbramento “preso”;
- *Ausencia plano de descimbramento*
- *Pilares con hasta 2.850 tf*

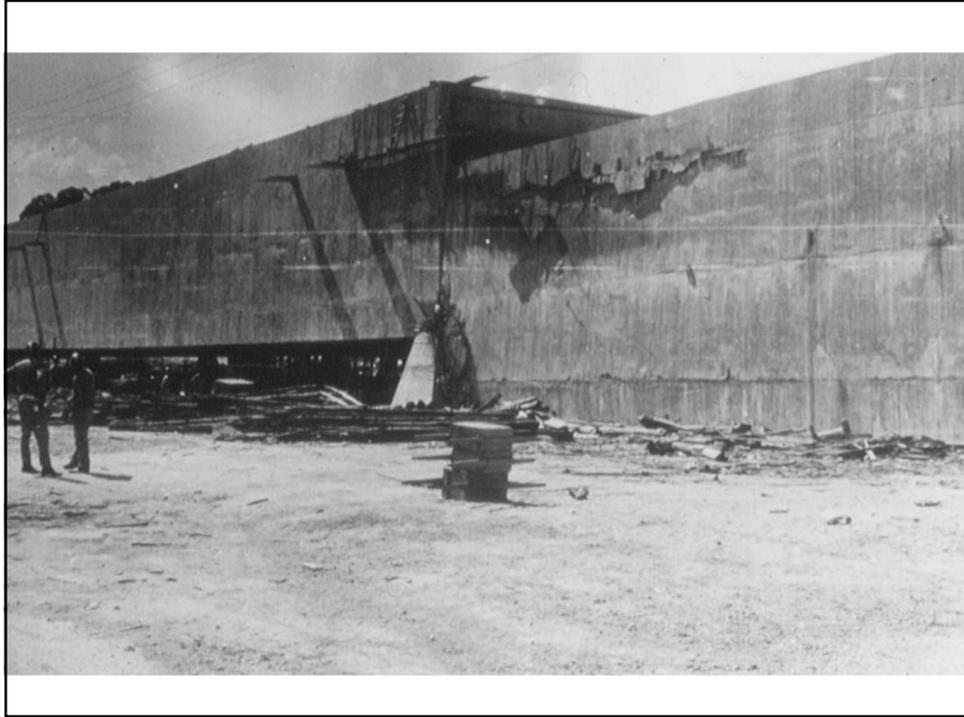
149



PAVILLÓN DE LA GAMELEIRA

4 de Febrero de 1971

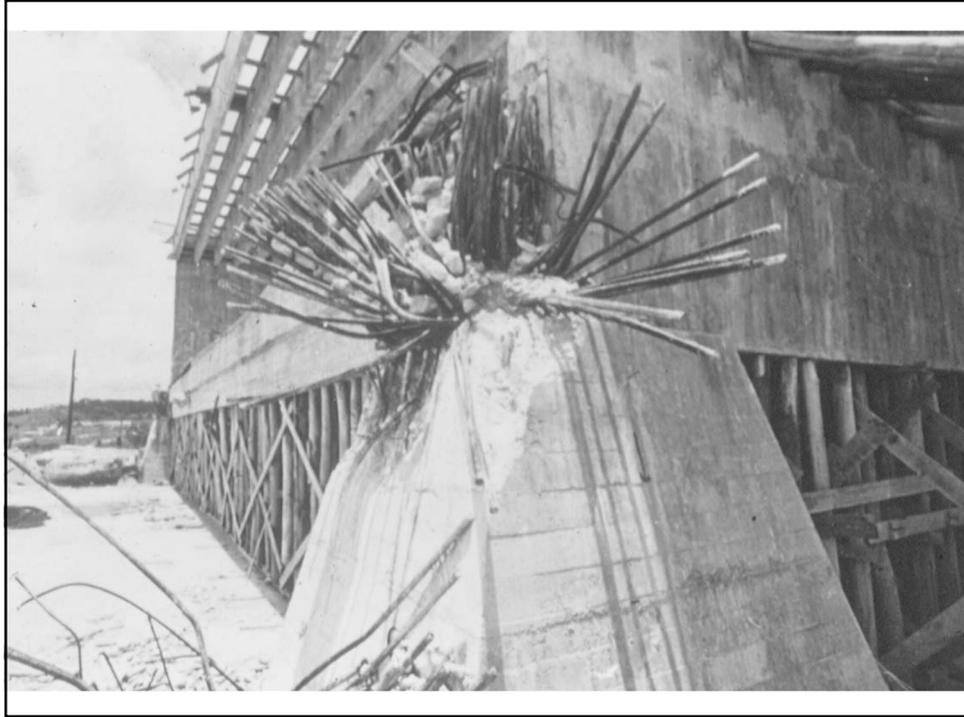
150



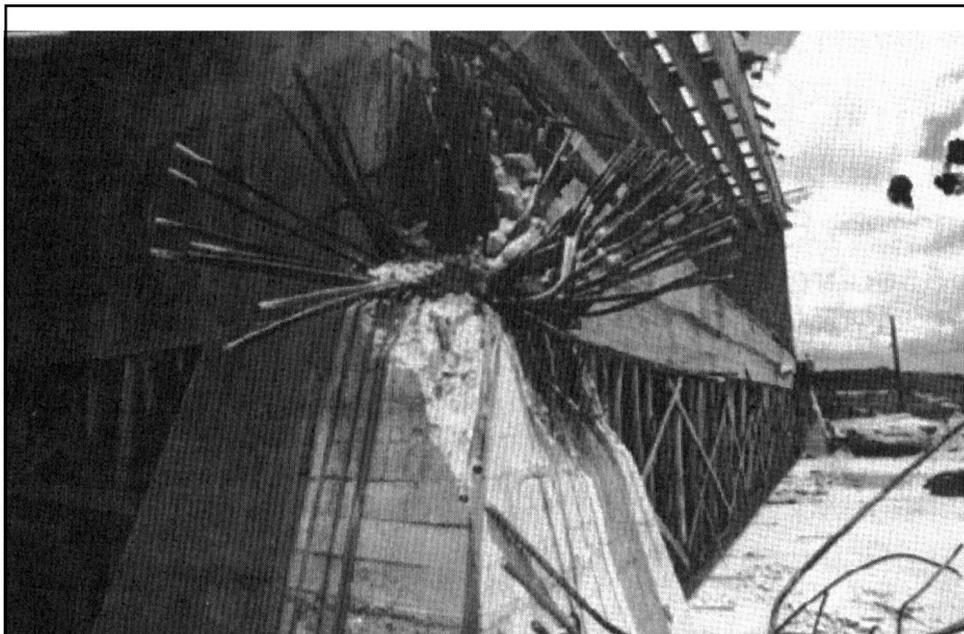
151



152



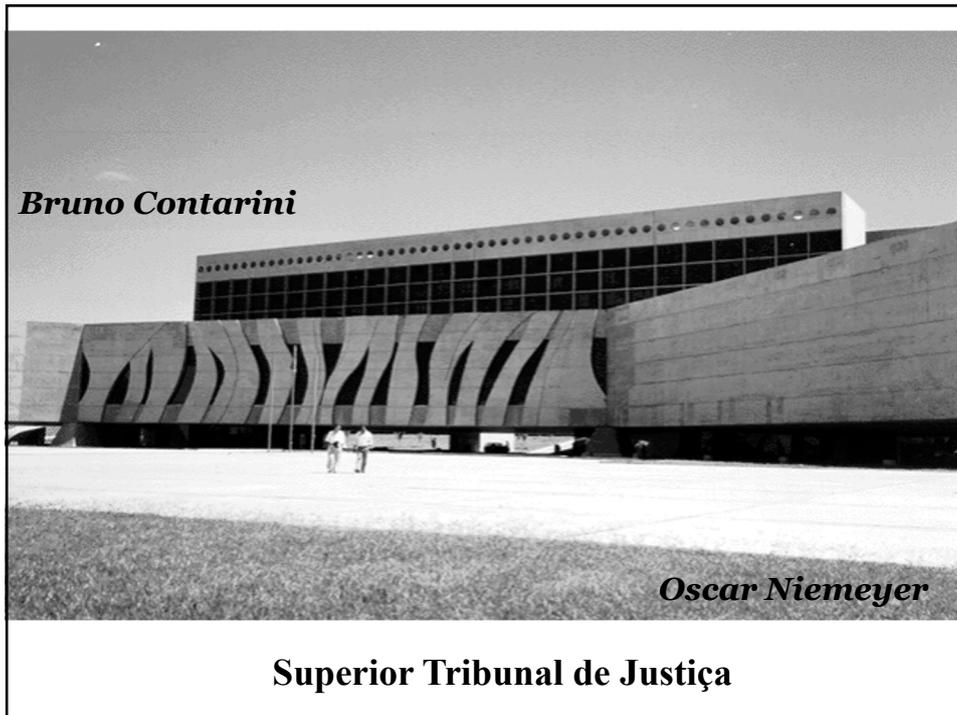
153



PAVILLÓN DE LA GAMELEIRA

4 de Febrero de 1971

154



155

Lecciones Aprendidas:

- 1. Proyectista → concepción do proyecto;**
- 2. Proyectista → detalles de las armadura;**
- 3. Proyectista → plano de descimbramiento;**
- 4. Constructor → respecto a los síntomas;**
- 5. Constructor → Conocer el proyecto (flechas, fisuras, estabilidad general, congestionamiento de armaduras, etc.);**
- 6. Fiscalización → las fisuras de cisallamiento son de pequeña abertura**

156

Lección Renovada

“O GRITO DA ESTRUTURA”

O mundo do veterinário é o de decifrar murmúrios, miados, mugidos, olhares ou uma inclinação de cabeça. É adivinhar sentimentos nos irracionais, é uma aproximação com os instintos. É identificar a origem de uma dor ou uma tristeza através da observação de uma indisposição para alimentar. É entender o porquê de uma renúncia à vida. O animal sofre, perde a alegria e tem-se que fazer algo urgente para salvá-lo.

No mundo do engenheiro também deve haver esta comunicação silenciosa. Identificar e avaliar uma patologia estrutural requer sensibilidade para o imponderável, para o imensurável. Não há números nem análise computacional que permita uma avaliação impessoal. O recado da estrutura vem através de uma fissura, um deslocamento, um desaprumo, um recalque, uma mancha, um destacamento, ou uma perda de nível.

São manifestações silenciosas. O grito por socorro de uma fissura de pilar pode ser extremamente incomodo para quem a identifica, mas pode passar despercebido para o inexperiente. Esse grito não chega a seu conhecimento, quando muito, avalia ser “um probleminha” e em muitas ocasiões providencia para que se esconda o sinal com uma massa ou pintura. Manda a estrutura calar.

157

Nos últimos quarenta anos têm-se notícias, com certa regularidade, de sinistros e catástrofes nas obras de engenharia -- O Pavilhão da Gameleira em Belo Horizonte, mais de 60 mortes. No mesmo ano de 1971 o Elevado Paulo de Frontin no Rio, mais de 20 mortes. O Edifício Palace II também no Rio e tantos outros pavilhões, igrejas, edifícios, marquizes. Ainda não saiu totalmente da mídia o mais recente, o desabamento do túnel da Estação Pinheiros do Metrô de São Paulo.

Sem exceções, todas estas obras pediram por socorro e ninguém ouviu. O pilar 5 do Pavilhão da Gameleira estava afundando. O grito por socorro do pilar não foi suficiente para paralisar a obra. Havia um cronograma a ser cumprido. O Palace II no Rio por mais de dois anos gritou por socorro. Os responsáveis, construtora e síndicos do condomínio, optaram por aplicar um analgésico. Algum técnico se dispôs a aplicar uma “massinha” barata onde saia fragmentos de um dos pilares. Por dias, até semanas, o túnel do Metrô de São Paulo clamou por socorro. Fissurou o solo no entorno, incomodou a vizinhança, fissurou casas, aumentou as infiltrações, por fim, fissurou o concreto projetado do túnel e mesmo assim só desabou no dia seguinte.

158

Há uma máxima jurídica que diz “a ninguém é dado o direito de desconhecer a lei”. Será que o engenheiro pode, por desinformação ou falta de experiência, ignorar o grito da estrutura?

Carlos Campos

Carlos Campos Consultoria e Construções

Obs.: Carlos de Oliveira Campos é geólogo, sócio atuante e pró-ativo do IBRACON, categoria diamante, e já exerceu a Diretoria Regional do IBRACON em Goiânia.

159



160