

FUNDAÇÕES EM CONCRETO: PROJETO, EXECUÇÃO E PATOLOGIA¹

Paulo Helene

Eng. Dr., Prof. Titular da Universidade de São Paulo.

Presidente do Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON.

Coordenador Internacional da Rede Rehabilitar CYTED.

Mauricio Garcia

Eng. Doutorando do Departamento de Engenharia de Construção Civil

da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Cláudio Sbrighi Neto

Geólogo, Prof. Dr. FAAP Engenharia.

Vice-Presidente do Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON.

RESUMO

Análise e discussão da interação entre o concreto e a engenharia de fundações com base nas normas e documentos vigentes no país.

SUMÁRIO

1. Introdução
2. Patologia
 - Na etapa de projeto
 - Na etapa de execução
3. Fundações em Concreto
4. Opiniões Controversas
5. Estudo de Casos
6. Considerações Finais

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um material de excelente desempenho mecânico, resistente, durável e capaz de ser moldado nas mais diversas formas o que lhe confere uma enorme versatilidade. Essas características fazem com que o material concreto seja amplamente empregado em todas as áreas da construção civil, bem como na engenharia de fundações, onde, dos vários tipos de fundações existentes, a grande maioria é executada em concreto².

Essa evidente interação forte que existe entre fundações e tecnologia de concreto, nem sempre é explorada pelos especialistas que militam nesses dois importantes campos da engenharia civil. Há necessidade do conhecimento sobre a tecnologia do concreto e as suas correlações com a engenharia de fundações: no dimensionamento, nos requisitos de desempenho e durabilidade, na execução, na dosagem, no controle, e outras.

¹ Obs. importante: este trabalho encontra-se em versão preliminar sem sofrer revisão e com o capítulo 4 somente esboçado faltando desenvolver. Está sendo entregue por "mea culpa" do autor principal que não conseguiu terminar a redação completa e definitiva a tempo da impressão dos anais

² Dos tipos de fundações citadas na NBR 6122, apenas as estacas pré-fabricadas podem ser executadas em madeira ou aço, os demais tipos de fundação são executados em concreto.

A questão da qualidade tem sido tema de discussão em todos os setores da sociedade, o que é notável pela grande profusão das normas ISO série 9000, bem como o grande número de publicações referentes ao tema nos últimos anos. Outro indicativo dessa tendência é a existência de um grande número de artigos referentes ao tema controle de qualidade de execução de fundações como os de Machado³ em 1995, Pereira⁴ em 1997, Balech⁵ em 2000, só por citar alguns, bem como a preocupação técnica de Associações do setor como a ABEF⁶ e a ABMS⁷ que elaboraram e publicaram recomendações referenciais sobre o tema, de importância e contribuição ímpar para o setor.

Deve-se ressaltar também o atual projeto de revisão e modernização da norma brasileira de projeto e execução de fundações (NBR 6122) que coloca a engenharia de fundações e geotecnia em destaque no contexto atual da engenharia de construção civil brasileira.

O objetivo deste artigo é fazer uma revisão crítica sobre as práticas atuais e as recomendações de norma para as fundações de concreto sob o ponto de vista da interação cada vez maior que deve existir entre tecnologia de concreto e fundações, visando contribuir para o desenvolvimento da engenharia civil no Brasil.

2. PATOLOGIA

Patologia, aplicada às fundações, significa estudo dos problemas desses elementos estruturais, neste caso, decorrentes da dosagem, produção e lançamento do concreto. Por se tratarem de estruturas que quase sempre estão enterradas, longe do alcance da visão dos usuários, as fundações não despertam tanto interesse nestes quanto as demais partes da construção. No entanto, por se tratarem de parte fundamental da estrutura das construções, qualquer falha nestes componentes pode resultar em diversos problemas, desde pequenas fissuras em argamassas e alvenarias, até mesmo o colapso parcial ou total da obra.

Em levantamento realizado no Rio Grande do Sul⁸ em 1994, Silva&Bressani⁹ relatam que cerca de 54% das obras analisadas com problemas de fundações apresentaram danos graves e até desmoronamento e colapso.

Outro fator agravante é o fato já mencionado, de que as fundações quase sempre estão enterradas, longe do alcance da visão, o que torna a percepção e a detecção das falhas quase

³ MACHADO, J. R. A. *Avaliação da capacidade de carga de estacas, com base no repique elástico medido no final da cravação*. 1995. 265p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

⁴ PEREIRA, M. *Considerações sobre capacidade de carga de estacas pela teoria da equação da onda*. 1997. 103p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1997.

⁵ BALECH, J. *Análise de transferência de carga de estacas cravadas em argila mole à partir de provas de carga dinâmica de energia crescente*. 2000. 153p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.

⁶ Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia, ABEF. *Manual de especificações de produtos e procedimentos ABEF*. 2ed ABEF, 1999. 282p.

⁷ Associação Brasileira de Mecânica dos Solos ABMS. HACHICH, W. et al. (ed) *Fundações: Teoria e Prática*. ABMS/ABEF, Ed. Pini, 1996. 751p.

⁸ SILVA, D. A. e BRESSANI, L. A. *Revisão de problemas clássicos em fundações de edificações*. Juiz de Fora, MG. 1994. v.2, p. 252-263. In: Congresso de Engenharia Civil, 1º, Juiz de Fora, 1994.

⁹ SILVA, D. A. e BRESSANI, L. A. *Resultados de um levantamento de patologias em fundações*. Juiz de Fora, MG. 1994. v.2, p. 240-251. In: Congresso de Engenharia Civil, 1º, Juiz de Fora, 1994.

impossíveis sem o auxílio de técnicas avançadas¹⁰. Na grande maioria dos casos o que ocorre somente é a "autopsia" do elemento de fundação, segundo Godemberg¹¹ em 1999.

Por outra parte, deve-se considerar também que qualquer intervenção que seja necessária, além de onerosa, é muito complicada, uma vez que o acesso a esses elementos na grande maioria dos casos é difícil. Diante desses fatores, conhecer e prevenir as patologias das fundações é extremamente importante.

Felizmente, há pouco registro de patologias graves em fundações o que demonstra que empresas e profissionais do setor têm grande competência e ética pois atuam num "espaço" desconhecido do domínio visual de toda a sociedade e muito pouco entendido até pelos próprios construtores e demais intervenientes na cadeia de engenharia civil de estruturas.

A patologia pode ser entendida como a ciência que se encarrega de entender e estudar os problemas da construção civil: suas origens, suas causas, suas manifestações e o mecanismo principal de deterioração. É comum classificar os problemas patológicos das fundações segundo a sua origem, relacionadas com as etapas de projeto, construção ou de uso da obra, a saber:

- a) **problemas devido às falhas no projeto:** problemas relacionados às falhas no dimensionamento, escolha do tipo de fundação inadequado, falta de conhecimento das características do subsolo, falha na investigação do subsolo entre outros;
- b) **problemas devido às falhas na execução:** problemas devido ao não obedecimento das especificações de projeto no que diz respeito à dimensões, localização, cotas, detalhes construtivos; falhas na concretagem; falta de limpeza das fôrmas; problemas devido à presença de água no nível de trabalho; excesso ou falta de energia de cravação, desaprumo, excentricidade entre outros;
- c) **problemas devido à má qualidade dos materiais utilizados na etapa de execução:** problemas na especificação dos materiais utilizados; utilização de materiais inadequados ou contaminados;
- d) **problemas devidos a fatores externos (etapa de uso):** problemas devidos a variações no teor de umidade do solo; escavações em terrenos vizinhos; vibrações próximas; ataques de agentes agressivos, etc.;
- e) **problemas devido à mudança de uso da edificação:** problemas devidos a carregamentos não previstos em projeto; execução de ampliações horizontais sem a previsão de juntas de movimentação, etc.

Dentre as origens citadas pode haver problemas referentes ao concreto em três delas: execução, materiais e fatores externos. Vale a pena ressaltar que na literatura, a maior parte dos dados existentes é referente a problemas relacionados ao solo ou à interação solo-estrutura, sendo os referentes ao concreto, apenas citados.

A Tabela 1 mostra os poucos dados encontrados, por estes pesquisadores, na literatura sobre patologias referentes ao concreto, em fundações. Seguramente há muitos outros não encontrados ou não relatados.

¹⁰ Como ensaios não destrutivos NDT tipo: ensaios percussivos, ultra-som, escavações custosas e sempre com muitas limitações de interpretação.

¹¹ GOLDEMBERG, J. J. e GOLDEMBERG, H. *Patología de fundaciones profundas: origen y clasificación*. Montevideo, 1999. v.2 p. 790-798, il. In: *Congreso Iberoamericano de Patología de las Construcciones e Congreso de Control de Calidad*, 5º y 7º, Montevideo, 1999.

Tabela 1. Resumo dos principais problemas de fundações referentes ao concreto

Origem	Riscos potenciais
Etapa de execução	<ul style="list-style-type: none"> • Má concretagem ou inadequado adensamento do concreto: podem levar a existência de ninhos de concretagem, reduzindo a capacidade portante e provocando recalques, bem como permitindo o ingresso de agentes agressivos; • Má dosagem do concreto resultando em um material inadequado: pode resultar em segregação e/ou exudação do concreto, baixa resistência mecânica, porosidade excessiva; • Erro na locação das armaduras, falta de espaçadores: pode resultar em cobrimento inadequado; • Falta de rigidez das armaduras; pode resultar na flambagem das armaduras e perda da espessura mínima de cobrimento; • Excesso de armaduras e insuficiente trabalhabilidade do concreto: pode resultar na redução da seção do fuste devido a ninhos de concretagem; • Procedimento inadequado de concretagem: pode provocar o desmoronamento de parte da escavação que se mistura com o concreto, tornando a fundação menos resistente; o choque do concreto com as armaduras pode provocar segregação; • Uso de fôrmas inadequadas, cura inadequada e dosagem inadequada: no caso de estacas pré-moldadas pode resultar em retração e conseqüente fissuração resultando em perda de capacidade portante e/ou facilitando posteriormente o ingresso de agentes agressivos;
Etapa de Execução Materiais	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de materiais de baixa qualidade: resulta em concreto com características inadequadas; • Uso de areia contaminada: reações expansivas deletérias no concreto (sulfatos) e/ou corrosão das armaduras da fundação (cloretos); • Uso de agregados reativos: risco de expansão por reação álcali-agregado; • Uso de água contaminada (água do mar, águas salôbras): pode prejudicar a pega, o endurecimento e a resistência do concreto, bem como pode provocar a corrosão das armaduras;
Fatores externos	<ul style="list-style-type: none"> • Ataques por agentes agressivos: expansão provocada por sulfatos e/ou corrosão das armaduras provocada por cloretos.

Em estudo realizado no Rio Grande do Sul de 1974 a 1992, por Silva & Bressani¹² foram analisados casos de obras com problemas de fundação encontrando-se as incidências iindicadas na Fig. 1.

¹² SILVA, D. A. e BRESSANI, L. A. *Revisão de problemas clássicos em fundações de edificações*. Juiz de Fora, MG, 1994, v.2, p. 252-263. In: Congresso de Engenharia Civil, 1º, Juiz de Fora, 1994.

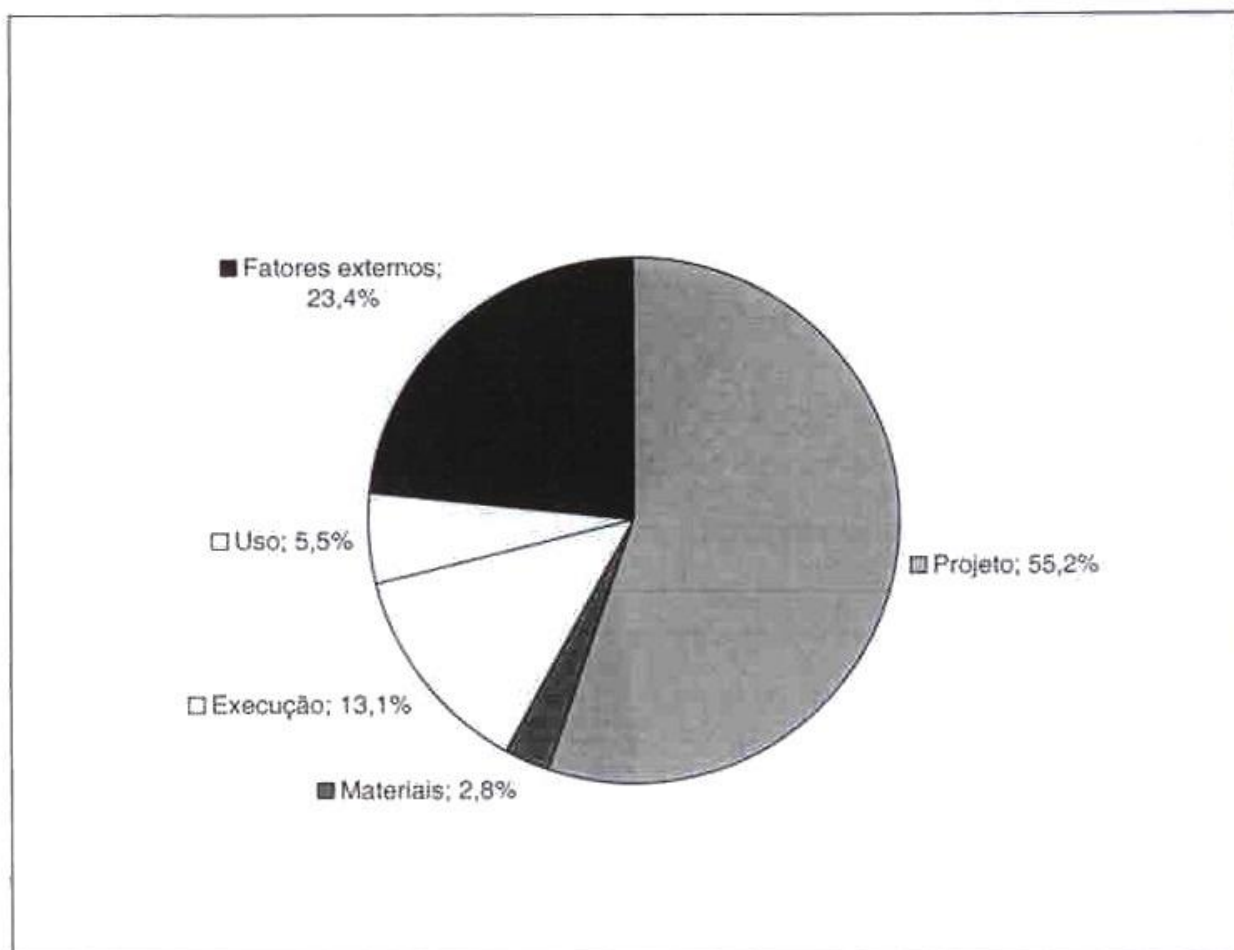


Figura 1. Incidência das patologias de fundações no Rio Grande do Sul quanto à sua origem (SILVA&BRESSANI, 1994)

Observando o gráfico percebemos que na maioria dos casos os problemas nas fundações são decorrentes da etapa de projeto, ou de ações externas, que segundo os autores é na maioria dos casos representada por intervenções no terreno adjacente à obra (escavações, aterramentos ou novas construções no terreno vizinho).

Isso explica, porém não justifica, porque a literatura especializada tem mais interesse (entenda-se existência de publicações) no estudo do solo e da interação solo-estrutura. No entanto, ao analisar o gráfico de incidências de patologias somente para o caso das fundações profundas (vide Fig. 2), observa-se um aumento significativo da incidência de patologias decorrentes da execução e um ligeiro aumento da incidência de patologias decorrentes do material utilizado.

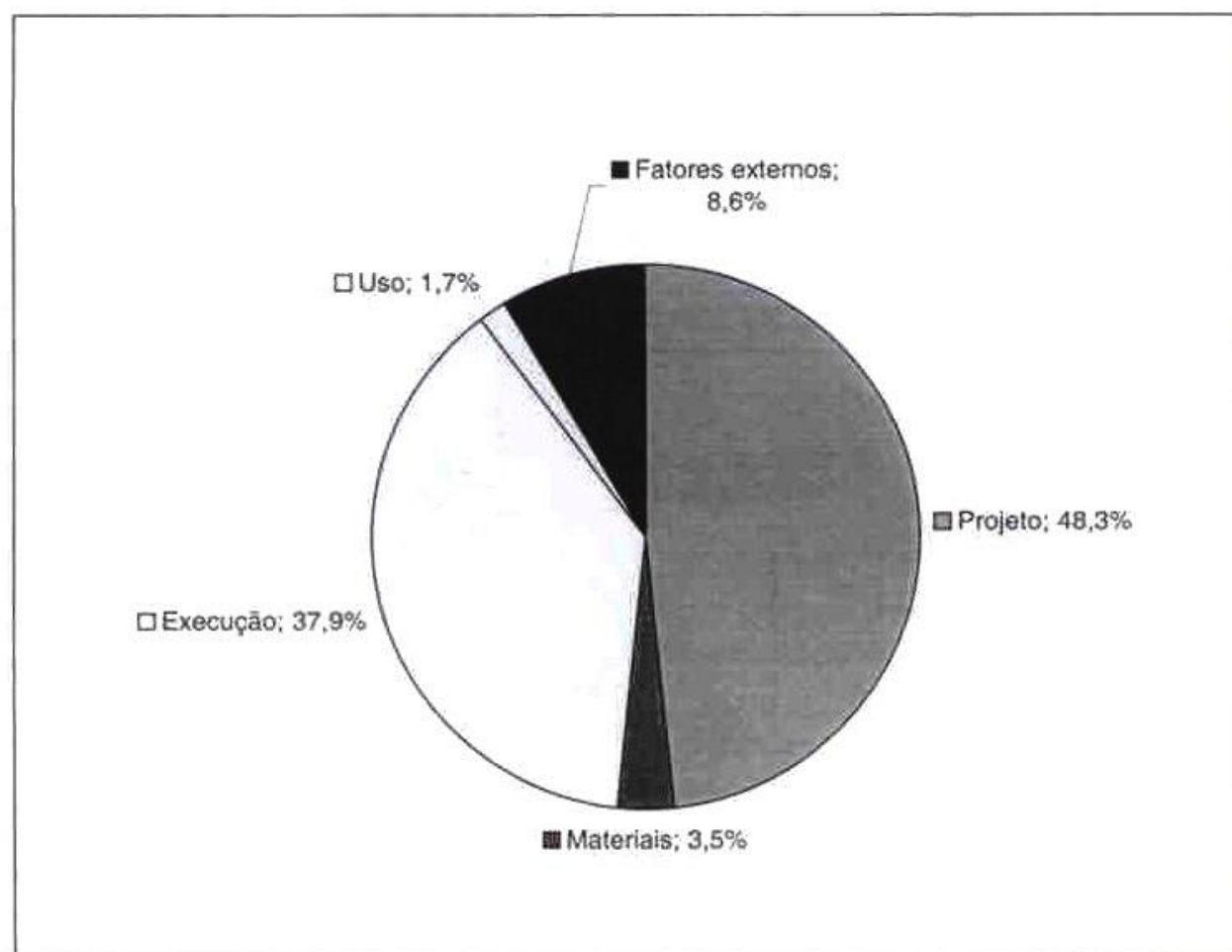


Figura 2. Incidência de patologias em fundações profundas no estado do Rio Grande do Sul (SILVA&BRESSANI, 1994)

Isso constitui-se num fato importante, uma vez que aumenta a participação da tecnologia de concreto, caracterizado pela má aplicação ou desconhecimento desta, como fonte provável para explicação dos problemas patológicos encontrados em fundações profundas.

Essa afirmação pode ser comprovada a partir de um dado ressaltado por Silva & Bressani de que nas fundações profundas a grande maioria dos casos de patologias decorrentes da etapa de execução é caracterizada pela interrupção e/ou perda de seção do fuste, que dentre outras coisas, podem estar relacionados a falhas na dosagem do concreto, na sua programação e no seu lançamento e adensamento no interior das estacas. Segundo Mañá¹³ o uso de um concreto adequado é o fator mais importante na construção de estacas sadias, resistentes e duráveis.

Outro fato importante foi obtido em pesquisa levantada junto ao meio técnico¹⁴. Ficou constatado que, embora seja reconhecida por alguns profissionais a influência da tecnologia de concreto em patologia de fundações, muitos consideram essa questão como um problema distante

¹³ MAÑÁ, F. *Patología de las cimentaciones*. Barcelona: Blume, 1978. 117p

¹⁴ Montoya; Meseguer; Morán. *Hormigón: especificaciones, diseño y patologías*. Madrid, Espasa-Calpe, 2001. p. 239-81

da engenharia de fundações e de responsabilidade exclusiva dos tecnólogos de concreto. Essa postura é nociva, na medida que cria um afastamento entre os dois grupos de especialização, reduzindo a interação entre eles e impedindo que conhecimentos adquiridos na prática possam ser compartilhados de forma a compreender os fenômenos envolvidos e evitar que os mesmos problemas se repitam.

3. FUNDAÇÕES EM CONCRETO

Dados e informações retirados dos Manuais da ABEF e da ABMS.

Estacas escavadas mecanicamente

Materiais

Material	Especificação	Norma referente (NBR)
Cimento	CP I classe 32	5732
Aço	CA50 ou CA25	7480 e 6152
Areia	Média, lavada	7211
Pedra	Nº2	
Concreto	C15	5739 e 5739
	$C_{min} = 300\text{kg/m}^3$	8953
	Abatimento 7	NM 67

Traço do concreto

- 1 saco de 50kg de CP I 32;
- 90 litros de areia média lavada;
- 140 litros de pedra nº2

Procedimento

- lançar concreto por meio de funil e tremonha para evitar choque do mesmo com a lateral da escavação;
- concretar a estaca até 30cm acima da cota de arrasamento

Problemas potenciais existentes nessa “especificação”:

- Para obter $f_{ck} = 15\text{MPa}$, qualquer tipo de cimento normalizado pode atender e não somente o CP I 32;
- Brita 2 em geral é muito grossa e dificulta coesão, transporte e adensamento;
- Consistência do concreto com abatimento de 7cm é inadequada pois trata-se concreto de difícil adensamento;
- O traço proposto corresponde a um concreto de consumo de cimento de 500kg/m^3 com relação a/c da ordem de 0,45 e $f_{ck} = 35\text{MPa}!!!$;
- Lançar com funil e tremonha é sempre aconselhável, assim como concretar mais de 30cm acima da cota de arrasamento.

Estaca tipo Strauss**Materiais**

Material	Especificação	Norma referente (NBR)
Cimento	CP I classe 32	5732
Aço	CA50	7480 e 6152
Areia	Média, lavada	7211
Pedra	Nº2 ¹⁵	
Concreto	C15	5739 e 5739
	$C_{min} = 300\text{kg/m}^3$	8953
	Abatimento 6 ou 8 ¹⁴	NM 67

Traço

- 1 saco de 50kg de CP I 32;
- 80 litros de areia média lavada;
- 120 litros de pedra nº2;
- 25 litros de água.

¹⁵ Para estacas armadas pode ser usada pedra nº1 e abatimento 12

Procedimento

- manter no mínimo 2m de concreto dentro do tubo para garantir a estanqueidade;
- cuidado ao levantar o tubo para não levantar o concreto e seccionar o fuste;
- concretar a estaca até 30cm acima da cota de arrasamento.

Carga admissível

Diâmetro do tubo de revestimento (cm)	Diâmetro nominal da estaca (cm)	Carga nominal da estaca (kN)
22	25	20
28	32	30
32	38	40
35	42	50
40	45	60

Problemas potenciais existentes nessa “especificação”:

- Para obter $f_{ck} = 15\text{MPa}$, qualquer tipo de cimento normalizado pode atender e não somente o CP I 32;
- Brita 2 em geral é muito grossa e dificulta coesão, transporte e adensamento;
- Consistência do concreto com abatimento de 6 a 8cm é inadequada pois trata-se concreto de difícil adensamento;
- O traço proposto corresponde a um concreto de consumo de cimento da ordem de 550kg/m³ com relação a/c de 0,50, tipo fluido (slump acima de 16cm) e $f_{ck} = 30\text{MPa}!!!$;
- As tensões nas estacas são da ordem de $f_c = 4\text{MPa}$, ou seja, γ_c da ordem de 7,5!!!;
- Lançar com cuidado e evitar falhas é sempre aconselhável, assim como concretar mais de 30cm acima da cota de arrasamento.

Estacas raiz**Materiais**

Material	Especificação	Norma referente (NBR)
Cimento	CP II classe 32	11578
Aço	CA50	7480
Areia	Média, lavada	7211
Argamassa	f_{ck} entre 18 e 20MPa $C_{min} = 600\text{kg/m}^3$	5739

Traço

- não consta

Procedimento

- cobertura mínimo de 20mm entre os estribos e a face interna do tubo de revestimento;
- lançar argamassa por meio de bomba injetora através de tubo de injeção no fundo do furo;
- interromper a injeção somente quando a argamassa emergente sair limpa, sem sinais de contaminação;
- aplicar ar comprimido (0,3 a 0,5MPa) a cada 4m ou no mínimo 3x por estaca (fundo, meio e topo);
- completar com argamassa se necessário;
- concretar a estaca até a superfície do terreno.

Carga admissível

Diâmetro nominal da estaca (mm)	150	160	200	250	310	400
Diâmetro do tubo de revestimento (mm)	127	141	168	220	273	324

Problemas potenciais existentes nessa “especificação”:

- Para obter $f_{ck} = 18$ a 20MPa, qualquer tipo de cimento normalizado pode atender e não somente o CP II 32.

Estaca tipo Franki**Materiais**

Material	Especificação	Norma referente (NBR)
Cimento	CP II E 32	11578
Aço	CA50 ou CA25	7480 e 6152
Areia	Média, lavada	7211
Pedra	Nº1 e Nº2	
Concreto	$f_{ck} = 16 \text{ MPa}$	5739 e 5739
	$C_{min} = 300 \text{ kg/m}^3$	8953
	Consistência seca	NM 67

Traço

<u>Fuste</u>	<u>Base</u>
<ul style="list-style-type: none"> • 1 saco de 50kg de CP II E 32; • 90 litros de areia média lavada; • 80 litros de pedra nº1; • 60 litros de pedra nº2; • a/c - 0,36. 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 saco de 50kg de CP II E 32; • 90 litros de areia média lavada; • 140 litros de pedra nº2; • a/c ~ 0,18.

Procedimento

- concretar a estaca até 30cm acima da cota de arrasamento.

Carga admissível

- Diâmetro nominal da estaca = diâmetro do tubo de revestimento

Problemas potenciais existentes nessa “especificação”:

- Para obter $f_{ck} = 16 \text{ MPa}$, qualquer tipo de cimento normalizado pode atender e não somente o CP II 32;
- Brita 2 em geral é muito grossa e dificulta coesão, transporte e adensamento;

- O traço proposto corresponde a um concreto de consumo de cimento da ordem de 600kg/m³ com relação a/c de 0,36 e 0,18, tipo terra seca (slump zero) e $f_{ck} = 50$ e 100MPa, respectivamente!!!;
- Lançar com cuidado e evitar falhas é sempre aconselhável, assim como concretar mais de 30cm acima da cota de arrasamento.

Hélice contínua monitorada

Materiais

Material	Especificação	Norma referente (NBR)
Cimento	CP III Sem adição extra de escória	
Aço	CA50 ou CA25	7480 e 6152
Agregados	pedrisco e areia	7211
Concreto	C20 $C_{min} = 400\text{kg/m}^3$ Slump (220±20)mm Slump flow 480 a 530mm a/c 0,53 a 0,56 Exudação ? 1,0% Teor de ar aprisionado ? 1,5% Início de pega ? 3 horas *não usar pó de pedra *finos totais mínimo de 650 kg/m ³	5739 e 5739 8953 7212 NM 67

Traço

- Exposto acima

Procedimento

- pressão do concreto na bomba e 6 MPa;
- cobertura mínimo de 7 cm no fuste e 15 cm no pé (para $D_{estaca} \geq 35\text{cm}$, cobertura mínimo de 10cm no pé);
- concretar até 50cm acima da cota de arrasamento.

Problemas potenciais existentes nessa “especificação”:

- Para obter $f_{ck} = 20\text{MPa}$, qualquer tipo de cimento normalizado pode atender e não somente o CP III;
- Brita zero em geral é muito fina;
- Consistência do concreto com abatimento de 18 a 22cm é inadequada pois trata-se concreto muito fluido;
- Finos acima de 500kg/m^3 é conveniente mas cimento acima de 400kg/m^3 é desnecessário para obter 20MPa;
- Lançar com cuidado e evitar falhas é sempre aconselhável, assim como concretar mais de 50cm acima da cota de arrasamento.

Tubulão a céu aberto **Materiais**

Material	Especificação	Norma referente (NBR)
Cimento	CP I 32	5732
Aço	CA50 ou CA25	7480 e 6152
Areia	Média, lavada	7211
Pedra	Nº2	
Concreto	C15 Abatimento 6	8953
		5739 e 5739
		NM 67
		12655

Problemas potenciais existentes nessa “especificação”:

- Para obter $f_{ck} = 15\text{MPa}$, qualquer tipo de cimento normalizado pode atender e não somente o CP I 32;
- Consistência do concreto com abatimento de 6cm é inadequada pois trata-se concreto de difícil adensamento;
- Lançar com cuidado e evitar falhas é sempre aconselhável, assim como concretar mais de 30cm acima da cota de arrasamento.

NBR 6122:1996**Variantes quanto a concretagem (item 7.8.4.2)**

Nas estacas moldadas "in loco" admite-se as seguintes variantes de concretagem:

- a) Perfuração não suportada isenta de água, quando o concreto é simplesmente lançado do topo da perfuração, através de tromba (funil) de comprimento adequado, sendo suficiente que o comprimento do tubo do funil seja de 5 vezes o seu diâmetro interno;
- b) Perfuração suportada com revestimento perdido, isenta de água, quando o concreto é simplesmente lançado do topo da perfuração sem necessidade de tromba;
- c) Perfuração suporta com revestimento perdido ou a ser recuperado, cheia de água, quando é adotado um processo de concretagem submersa, como emprego de tremonha ou outro método devidamente justificado;
- d) Perfuração suportada com revestimento a ser recuperado, isenta de água, quando a concretagem pode ser feita de acordo com as modalidades a seguir:
 - O concreto é lançado em pequenas quantidades, que são compactadas sucessivamente, a medida que se retira o tubo de revestimento; deve-se empregar um fator água cimento baixo;
 - O tubo é inteiramente cheio de concreto plástico, e em seguida, é retirado com a utilização de procedimentos que garantam a integridade de fuste da estaca;
- e) Perfuração suportada por lama, quando é adotado um processo de concretagem submersa, utilizando-se tremonha, no caso de uso de bomba de concreto, ela deve despejar o concreto no topo da tremonha, sendo vedado bombear diretamente para o fundo da estaca.

Notas:

- a) ...
- b) em cada caso, o concreto deve ter plasticidade adequada a probabilidade de execução e atender aos requisitos de resistência;
- c) ...

Broca (item 7.8.5)

- $20 = D = 50\text{cm}$;
- Concreto:
 - o $f_{ck} = 15\text{ MPa}$;
 - o $C_{min} = 300\text{kg/m}^3$;
 - o Consistência plástica;
- Normalmente não armada (pode ser se necessário);
- Carga estrutural admissível:
 - o $f_{ck} = 15\text{ MPa}$;
 - o $\gamma_c = 1,8$;

Hélice contínua (item 7.8.6)

- Concreto:
 - o $f_{ck} = 20\text{ MPa}$;

- o $C_{min} = 350\text{kg/m}^3$;
 - o Bombeável;
 - o Cimento + areia + pedrisco + brita 1;
 - o Pode-se utilizar aditivos
- Armadura instalada após a concretagem;
 - Carga estrutural admissível:
 - o $f_{ck} = 20\text{ MPa}$;
 - o $\gamma_c = 1,8$;
 - No caso de solicitação corrente por tração ver item 7.8.9.9.3

Estaca Strauss (item 7.8.7)

- $D_{m\acute{a}x} = 500\text{mm}$;
- Concreto:
 - o $f_{ck} = 15\text{ MPa}$;
 - o $C_{min} = 300\text{kg/m}^3$;
 - o Consistência plástica;
- Pode ser armada – cobrimento mínimo de 3cm;
- Carga estrutural admissível:
 - o $f_{ck} = 15\text{ MPa}$;
 - o $\gamma_c = 1,8$;
 - o diâmetro nominal da estaca igual ao diâmetro do tubo de revestimento, ou da piteira caso não haja tubo de revestimento;
- No caso de solicitação corrente por tração ver item 7.8.9.9.3

Estaca tipo Franki (item 7.8.8)

- Concreto:
 - o $C_{min} = 350\text{kg/m}^3$;
 - o O fuste pode ser concretado segundo 7.8.4.2;
- Últimos 0,15m³ de concreto:
 - o $p/D = 450\text{mm}$? energia de compactação mínima de 2,5 MNm;
 - o $p/D > 450\text{mm}$? energia de compactação mínima de 5 MNm;
- Armadura:
 - o obrigatório armadura mínima;
- Carga estrutural admissível:
 - o $f_{ck} = 20\text{ MPa}$;
 - o $\gamma_c = 1,5$;
- No caso de solicitação corrente por tração ver item 7.8.9.9.3

Estaca escavadas com uso de lama (item 7.8.9)

- Perfuração:
 - o Uso de tubo-guia com $D = D_{\text{estaca}} + 50\text{mm}$;
 - o Uso de parede-guia com arestas 50mm maiores que a fundação;
- Concretagem:
 - o Feita com tremonha;
 - o $C_{\text{min}} = 400\text{kg/m}^3$;
 - o $\text{Slump} = (200 \pm 20)\text{mm}$;
 - o $D_{\text{max}} \text{ agregado} = 0,1 D$ interno do tubo da tremonha;
 - o Tremonha inserida no mínimo 1,5m no concreto;
- Armação:
 - o Quando há somente compressão, a armadura é necessária se a tensão no concreto for maior que 5MPa ou por motivos construtivos;
 - o No caso de solicitação corrente por tração ver item 7.8.9.9.3
- Carga estrutural admissível:
 - o $f_{\text{ck}} = 20 \text{ MPa}$;
 - o $\gamma_c = 1,9$;

Estacas escavadas, com injeção (7.8.10)

- Carga admissível como elemento estrutural:
 - o Se $\rho_{\text{aço}} < 6\%$ (dimensionar como pilar segundo a NBR 6118):
 - ◆ Argamassa:
 - $C_{\text{min}} = 600\text{kg/m}^3$;
 - $f_{\text{ck}} = 20 \text{ MPa}$;
 - $\gamma_c = 1,6$;
 - ◆ Área da argamassa = área da estaca – área de aço;
 - ◆ Diâmetro nominal da estaca = diâmetro externo da sapata cortante;
 - o Se $\rho_{\text{aço}} > 6\%$:
 - ◆ Todo o esforço deve ser resistido pelo aço;
 - o Se somente existem esforços de tração:
 - ◆ $\rho_{\text{aço}} < 6\%$? seguir item 7.8.9.9.3;
 - ◆ $\rho_{\text{aço}} > 6\%$? dimensionar como peça metálica;
- Carga admissível como elemento de fundação:
 - o Se penetra em rocha ? considerar efeito de ponta;
 - o Caso contrário ? considerar apenas atrito lateral;

Item 7.8.9.9.3

- Quando há somente tração, a estaca deve ser armada segundo a NBR 6118 com redução de 2mm no diâmetro das barras longitudinais ou sem a redução quando verificada a fissuração;

4. OPINIÕES CONTROVERSAS

Discussão dos traços e resistências de concreto recomendados nos documentos consultados.

Concreto lançado sob água

O lançamento de concreto sob água, ou qualquer outro fluido até mesmo lama bentonítica de estacas barrete, com uso de tubo tipo tremonha ("tremie") foi idealizado por Robert E. Lee pertencente ao batalhão de engenheiros do Exército Americano em 1848¹⁶. Em geral sempre que se tratar de um componente estrutural, este pode ser armado. Deve ser lançado sempre de forma contínua e rápida e já foi lançado a 260m de profundidade¹⁷. Para vedar o pé do tubo utiliza-se um tampão de madeira coberto com borracha ou até mesmo uma bola de borracha firme ou de couro bem pressionada para vedar a ponta e impedir entrada de líquido. De sua "invenção" para cá esse procedimento tem sido largamente utilizado e pode-se dizer que a evolução havida restringe-se aos novos tipos de concreto pois o procedimento construtivo em si evoluiu muito pouco nesses últimos 100 anos.

Recomendações gerais sobre as características do concreto:

- Agregado graúdo: de 4,8mm a 38mm; correntemente brita 1 de $D_{max} = 19mm$. Pode-se utilizar até 38mm em peças e tubulação grandes pouco ou não armadas;
- Agregado miúdo: qualquer areia, preferentemente as areias naturais ou artificiais finas;
- Cimento: qualquer tipo normalizado no país, preferencialmente CP III e CP IV;
- Aditivo: pode ser utilizado retardadores, plastificantes, incorporadores de ar, densificadores, anti wash out (anti lavagem) e superplastificantes, desde que comprovada em laboratório a compatibilidade com o cimento;
- Adições: pode ser utilizado escória básica granulada de alto forno; pozolanas; metacaulim; sílica ativa e filler calcário, sendo preferível metacaulim e sílica ativa por conferirem elevada coesão aos concretos ao mesmo tempo que aumentam resistências e durabilidade;
- Concreto fresco: auto-adensável com abatimento do tronco de cone ("slump") de 18 a 25cm; teor de argamassa fresca acima de 52%; consumo de cimento acima de 250 kg/m³; consumo de finos (= 0,15mm) acima de 400kg/m³; relação volumétrica água / finos = 1
- Tubulação: diâmetro do tubo $e \leq 5 \cdot D_{max}$
- Ensaio: "slump" NBR ; diâmetro do slump NBR ; mesa de fluidez NBR ; U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station. Test Method of Determining Resistance of Freshly Mixed Concrete to Washing Out in Water. CRD-C 61-89A, 1989.

Estaca Hélice contínua¹⁸ monitorada e estaca Ômega¹⁹

Problemas: segregação; borbulhamento de água com exsudação na estaca e no cp?; topo poroso e baixíssima resistência²⁰

¹⁶ GERWICK Jr., Ben C. Placement of tremie concrete. *Concrete International*, January 2004, v. 26, n. 1, ISSN 0162-4075 p. 41-52

¹⁷ YAO, Sam X.; GERWICK Jr., Ben C. Underwater concrete part 1 & 2. *Concrete International*, January / February 2004, v. 26, n.2, ISSN 0162-4075 p. 77-82

¹⁸ Vazamento controlado. Reportagem Ubiratan Leal. *Téchne*, setembro 2002, v.10, n. 66 ISSN 0104-1053 p. 38-40

¹⁹ Fundações profundas II. Estacas moldadas in loco. *Téchne*, Fevereiro 2004, v. 12, n.83, ISSN 0104-1053 p. 46-50

²⁰ NIYAMA, Sussumu. Qualidade e controle dos serviços de execução de fundações. 4º Seminário Tecnologia de Estruturas; Projeto e Produção com Foco na Racionalização e Qualidade, SINDUSCON, 2003.

5. ESTUDO DE CASOS

Relata-se a seguir o caso de dois pareceres técnicos referentes a concreto em fundações sendo o primeiro emitido a respeito de problema patológico ocorrido durante a execução do fuste de estaca barrete e o segundo sobre calor de hidratação.

Patologia de estaca barrete

Segundo os engenheiros de obra, apenas uma das estacas barrete de certa obra, apresentou redução drástica de resistência à compressão do concreto. Essa queda de resistência não foi constatada pelos corpos de prova de controle que apresentaram, na época, resultados plenamente satisfatórios na idade de 28 dias, com todos os resultados acima de 24MPa. O concreto está especificado para $f_{ck} = 20\text{MPa}$, consumo de cimento = 400kg/m^3 , abatimento de $(22 \pm 2)\text{cm}$, brita 1, não bombeável e auto-adensável.

Por ocasião do início de construção dos blocos de fundação e conseqüente necessidade de arrasamento e preparação da cabeça das estacas, foi observado que essa estaca tinha apresentado uma retração tipo recalque de aproximadamente 70cm em relação às demais e tinha um concreto muito pouco resistente. Prudentemente, foram realizados ensaios de extração de testemunhos cujo resultado a compressão axial, às idades de 54dias, 55dias e 63dias foram de apenas 4,6MPa, 3,9MPa e 7,2MPa, respectivamente, muito aquém da resistência de projeto de $f_{ck} = 20\text{MPa}$.

Em vista desses resultados insatisfatórios, foram realizados ensaios de extração de testemunhos de concreto dessa estaca barrete a profundidades crescentes de 0,7m; 0,85m; 1,3m; 1,65m; 2,0m; 2,15m e 2,85m, comprovando-se que a partir de 1,30m os resultados dos testemunhos já superavam os 25MPa de resistência à compressão.

Também foi realizado ensaio de reconstituição de traço obtendo-se consumo de cimento CP III 40, de 435kg/m^3 e proporção em massa de cimento : agregados secos de 1 : 3,70 com relação água/cimento de 0,52, teor de ar aprisionado de 2%, massa específica dos agregados carbonáticos de 2.650kg/m^3 , brita carbonática, areia de pó de brita e areia de quartzo. Segundo a empresa de serviços de concretagem o traço do concreto foi de 1 : 0,68 : 1,57 : 2,13 ; $a/c = 0,52$, com aditivo plastificante, teor de argamassa seca de 60% e fator água/materiais secos de 9,7%.

O boletim de execução desse barrete, executado pela empresa de fundações não indicava ocorrências anormais, salvo que a concretagem se realizou das 16:30h até 18:40h com um atraso de 4h em relação ao previsto. Também observa-se que a diferença entre cota da parede guia e cota de arrasamento é de 4,2m enquanto o não concretado indica 4,7m, o que representa uma discrepância de 0,5m em cota real de arrasamento, em outras palavras estava previsto concretar 27,8m de estaca e foi concretado apenas 27,3m.

O objetivo deste parecer técnico é esclarecer as prováveis razões dessa queda exagerada de resistência à compressão nos últimos metros dessa estaca, próximo da cota de arrasamento, através de ensaios especiais, avaliação dos resultados e diagnóstico do problema.

Ensaio realizados

Para diagnóstico do problema procedeu-se à análise de 3 testemunhos; dois representativos do concreto próximo à cota de arrasamento (concreto deficiente) e um representativo do concreto à profundidade superior a 2m (concreto adequado).

Esses testemunhos representativos dessa estaca barrete foram submetidos a ensaios físico-mecânicos para conhecimento da resistência à compressão, módulo de elasticidade, absorção de

água, volume de vazios e massa específica. Parte rompida desses corpos de prova foram submetidos ao ensaio químico de reconstituição de traço.

Pedaços desses testemunhos também foram encaminhados ao consultor geólogo, especialista em agregados e concreto, com vistas a uma análise táctil-visual segundo ACI 201 e ASTM C 823, petrográfica segundo ASTM C 856 desse concreto com realização também de ensaio de difratometria de raios-X para identificação de compostos mineralógicos presentes nas amostras.

Resultados de ensaios físico-mecânicos e químicos

Os resultados obtidos assim como os métodos de ensaio utilizados estão apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Resultados obtidos de ensaios físico-mecânicos e químicos

propriedade	unidade	método de ensaio	concreto deficiente	concreto adequado
absorção de água	% em massa	ASTM C 642	11,7	6,1
volume de vazios	% em volume	ASTM C 642	24,8	14,0
massa específica	kg / m ³	ASTM C 642	2.120	2.310
módulo de elasticidade, secante a 0,45 de f _c	GPa	ASTM C 469	6,47	27,8
resistência à compressão	MPa	ASTM C 42	5,20	29,3
traço em massa seca cimento : agregados	kg : kg	ASTM C 1084	1 : 8,06	1 : 4,40
consumo de cimento	kg / m ³	ASTM C 1084	211	385
relação a/c	kg / kg	estimada	1,01	0,55

Avaliação dos resultados físicos-mecânicos e químicos

Tomando-se por referência as recomendações do American Concrete Institute ACI 264 e da NBR 6118, pode-se fazer as seguintes observações:

1. O concreto considerado adequado com $f_{ck} = 20\text{MPa}$ e encontrado nos trechos inferiores da estaca em questão apresenta características e propriedades compatíveis com o concreto especificado, principalmente considerando que os ensaios químicos podem apresentar variabilidade superior a 20%;
2. O concreto deficiente apresenta índices de propriedades e características absolutamente incompatíveis com os de um concreto normal de $f_{ck} = 20\text{MPa}$, indicando claramente que houve erro na dosagem, contaminação posterior ou adensamento inadequado.

Avaliação táctil-visual, petrográfica e mineralógica

Sobre a amostra de concreto deficiente

A amostra entregue foi submetida à apreciação táctil-visual para verificação de sua constituição física através da determinação expedita de propriedades físico-mecânicas facilmente

detectáveis e também encaminhada a laboratório especializado para realização do ensaio de difratometria de raios-X, procurando identificar prováveis contaminantes incorporados à amostra.

A amostra de concreto examinada apresentou cor escura tendendo ao bege avermelhado incomum em concretos convencionais. A diferença de cor aumenta na condição úmida quando a citada tonalidade acentua-se.

A consistência mecânica da amostra mostrou-se frágil, sendo possível provocar facilmente a fratura dos cantos da amostra pelo esforço com os dedos da mão.

O ensaio de determinação da composição da amostra por difratometria de Raios-X, após tratamento com HCl (ácido clorídrico) para dissolução do cimento Portland presente identificou, além diversos componentes normais do concreto em sua frequência relativa habitual, o grupo de minerais das esmectitas ao qual pertence a argila denominada bentonita além da presença secundária de caulinita, mica e hematita e até de traços de anfibólio.

A apreciação tátil-visual que mostrou a fragilidade da amostra além de uma cor incomum, sugere a ocorrência de contaminação da amostra de concreto. O resultado do ensaio por difratometria de raios-X no anexo A deste parecer, indica inequivocamente a presença de argilo-minerais contaminando a amostra de concreto e provocando seu aspecto e suas propriedades físico-mecânicas diferenciadas em relação ao concreto correntemente utilizado em estacas tipo barrete.

Sobre a amostra de concreto adequado

A amostra entregue foi submetida à apreciação tátil-visual para verificação de sua constituição física através da determinação expedita de propriedades físico-mecânicas facilmente detectáveis e também encaminhada a laboratório especializado para realização do ensaio de difratometria de raios-X, procurando identificar prováveis contaminantes incorporados à amostra.

A amostra de concreto examinada apresentou cor cinza usual em concretos convencionais. A consistência físico-mecânica da amostra mostrou-se rígida, sendo impossível provocar a fratura dos cantos da amostra pelo esforço com os dedos da mão.

O ensaio de determinação da composição da amostra por difratometria de Raios-X, após tratamento com HCl (ácido clorídrico) para dissolução do cimento Portland presente identificou diversos componentes normais do concreto em sua frequência relativa habitual, e ainda a presença de minerais do grupo das esmectitas ao qual pertence a argila denominada bentonita com presença secundária de caulinita.

Parecer Conclusivo

Tendo em vista os relatos, os resultados anteriores de controle e os resultados obtidos neste estudo pode-se concluir que:

1. O **concreto** entregue na obra para concretagem das estacas barrete tem elevadíssima probabilidade de que atende ao concreto especificado no projeto estrutural pois:
 - os resultados do controle de aceitação realizado com os concretos do balão dos caminhões betoneira são amplamente favoráveis e atendem ao $f_{ck} = 20\text{MPa}$;
 - inexistência de contaminantes e adições tipo gesso, escória de alto forno, pozolanas, carbonato de cálcio ou magnésio em proporções acima das usuais;
 - no concreto das partes inferiores do fuste dessa estaca, apesar de ainda conter traços de esmectita e caulinita secundária, as demais propriedades tipo consumo de cimento compatível com os 400kg/m^3 , coloração, massa específica, absorção de água, volume de vazios, módulo de elasticidade e resistência à compressão, atendem plenamente os requisitos do concreto especificado no projeto estrutural;

2. O **concreto deficiente**, se entregue assim, deveria conter elevada quantidade de adição de minerais do grupo bentonita, cerca de 150kg/m^3 a 200kg/m^3 de bentonita, o que o tornaria, ainda quando fresco, visivelmente diferente dos anteriores lançados no mesmo dia e hora e deveria ter gerado alguma observação especial dos operários que estavam manuseando esse concreto. Seria notável e sensível a diferença de cor, coesão e trabalhabilidade desse concreto adulterado, porém não há nenhum registro dessa ocorrência;
3. O **concreto deficiente**, se entregue com relação a/c da ordem de 1,0 e com consumo de cimento Portland da ordem de 210kg/m^3 , sem bentonita, jamais poderia retrair 70cm. Teria sem dúvida uma retração superior aos demais, após auto-adensado, porém não de 70cm. A retração plástica, química e de secagem que pode ocorrer em 24h não supera os $3 \cdot 10^{-3}$ mm/mm, o que daria para uma estaca de 27,3m, não armada, uma retração total máxima, nessas condições adversas, da ordem de 8,2cm;
4. Existe uma altíssima probabilidade de que **houve contaminação do concreto** entregue com a **lama bentonítica** utilizada nas estacas tipo barrete, durante a execução desta, por mal posicionamento do tubo tremie. Todos os registros de controle indicam concreto com características e propriedades adequadas portanto a única razão plausível que justifica a presença de teores elevados de contaminação por argila do grupo bentonita é durante a execução. Sempre que o tubo "saia de dentro do concreto já lançado", o que pode ocorrer por excesso de pressa e desatenção na execução do trabalho de concretagem dessa estaca barrete, o concreto mistura-se com a lama bentonítica em grandes proporções e pode contaminá-lo nos teores encontrados e com enorme prejuízo nas propriedades mecânicas e de retração.

Calor de hidratação em fundações

Introdução

A hidratação do cimento Portland é uma reação exotérmica, ou seja, libera calor no interior da massa de concreto. A saída desse calor para o meio externo é influenciada pelas características térmicas dos materiais empregados, pelas condições ambientais e pelas dimensões da estrutura, como blocos de fundação.

O concreto sofre variações dimensionais quando exposto a ação da temperatura, levando ao surgimento de tensões térmicas que podem superar as resistentes, provocando a fissuração da estrutura.

O objetivo deste trabalho é analisar o comportamento térmico do concreto no bloco de fundação do pilar central, com o intuito de inibir a fissuração de origem térmica.

Características do bloco de fundação

Trata-se de um bloco de fundação de 26 m de largura, 26 m de comprimento e 3,5 m de altura, com f_{ck} de 30 MPa aos 91 dias, localizado na cidade de São Paulo. O volume de concreto total a ser utilizado no bloco é de 2366 m^3 .

Características climáticas

A cidade de São Paulo apresenta temperatura média máxima no mês de maio de $23\text{ }^\circ\text{C}$, conforme mostrado na Figura 1.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Máximas	27°C	28°C	27°C	25°C	23°C	22°C	22°C	23°C	23°C	25°C	26°C	26°C
Mínimas	19°C	19°C	19°C	17°C	15°C	13°C	13°C	13°C	14°C	16°C	17°C	18°C
Media	23°C	24°C	23°C	21°C	19°C	18°C	17°C	18°C	18°C	21°C	22°C	22°C

Figura 1. Temperaturas médias máxima, mínima e média

Concreto

O concreto empregado na produção do bloco de fundação deve ser obtido através da mistura dos materiais disponíveis de forma a se atender a uma resistência mínima de projeto, baixo calor de hidratação, boas condições de dissipação térmica e trabalhabilidade.

Materiais empregados

Consultou-se a usina de concreto sobre os materiais a serem utilizados no traço do concreto de f_{ck} 30 MPa, médio a 91 dias em corpos de prova cilíndricos na obra em questão, verificando-se a disponibilidade dos materiais listados a seguir:

Agregados:

- Granito (gráudo), com dimensão máxima característica de 19 mm, Brita 1;
Calor específico: $0,181 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$, adotado a partir de STP 169C da ASTM.
- Areia quartzosa (miúdo).
Calor específico: $0,190 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$, adotado a partir de STP 169C da ASTM.
- Areia artificial de calcário
Calor específico: $0,220 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$, adotado a partir de STP 169C da ASTM.

Cimento:

- Cimento CIII-32
Calor de hidratação: $53 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$, adotado a partir de dados do fabricante.

Aditivo:

- Plastificante
- Superplastificante

Dosagem experimental

O traço empregado foi desenvolvido conforme a dosagem apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Traço a ser empregado na concretagem dos pilares com f_{ck} igual a 30 MPa e Características do concreto admitido neste estudo a partir de consulta bibliográfica no STP 169C da ASTM

Traço do concreto $f_{ck,gr}=30$ MPa	
Consumo de cimento	310 kg
Relação água/cimento	0,50
Traço (cimento:areia:brita)	1:2,46:3,47
Slump	13 ± 3 cm
Teor de argamassa	50 %
Areia de Quartzo	610 kg
Areia Artificial, pó de pedra calcária	152 kg
Brita 1 granítica	1076 kg
Aditivo plastificante (0,6 % em massa)	1,86 kg
Aditivo superplastificante (1% em massa)	3,10 kg
Gelo (descontando a umidade da areia)	115 kg
Características do concreto	
Difusibilidade térmica	0,1083 m ² /dia
Coeficiente de dilatação térmica	10×10 ⁻⁶ m/°C
Calor específico	0,232 kcal/kg°C

Estudo térmico

A Tabela 1 mostra o cálculo térmico para o traço de concreto previsto.

Tabela 1. Cálculo térmico para se determinar a temperatura de lançamento do traço

Material	Consumo (kg/m ³)	Calor específico (kcal/kg°C)	m × c (kcal/kg°C)	T (°C)	Q (kcal/m ³) Positivo	Q (kcal/m ³) Negativo
Cimento	310	0,200	62,0	60	3720	
Areia de quartzo	610	0,190	115,9	23	2666	
Areia artificial de calcário	152	0,220	33,4	23	769	
Umidade da areia	40,0	1,000	40,0	23	920	
Brita 1- granítica	1076	0,181	194,8	23	4479	
Água	0	1,000	0,0	19	0	
Gelo (sensível)	115	0,500	57,5	-5		288
Gelo (latente)	115	1,000	115,0			9200
Betoneira	1000	0,27	270	25	6750	
			888,6			
				Soma	19304	9488
					9817	
ad. plastificante 394N MBT	1.86 kg	0,60%		T_e	11,0 °C	
ad.super Rheobuild 1000 MBT	3.10 kg	1%		T_L	13,0 °C	

Limite de deformação para não-fissuração do bloco

As deformações resistentes foram estimadas com as equações de resistência à tração e módulo de elasticidade segundo a norma NBR-6118²¹ (2003) considerando um f_{ck} de 30 MPa a 91 dias de idade, o que corresponde a um f_{ck} de 27 MPa a 28 dias de idade.

$$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3} = 2,90 \text{ MPa}$$

$$E_c = 5600 \sqrt{f_{ck}} = 29 \text{ GPa}$$

$$E_a = 0,67 \times E_c = 19 \text{ GPa (efeito da fluência)}$$

Para a não fissuração do bloco é necessário que as deformações máximas atuantes ($\epsilon_{atuante}$) sejam inferiores às resistentes ($\epsilon_{resistente}$). Como os ensaios de tração e módulo não foram realizados, utilizou-se os valores de norma NBR 6118¹ indicados acima. O coeficiente de dilatação linear adotado foi de 10×10^{-6} , encontrado no STP 169C da ASTM, correspondente ao traço de concreto mais próximo ao utilizado no presente trabalho, com agregado granítico. O módulo de elasticidade aparente E_a equivalente à 2/3 do módulo instantâneo foi estimado conforme recomendações do U.S. BUREAU OF RECLAMATION²².

Restrições

Fator de restrição da fundação

Por haver 30 estacas de 1,6 m de diâmetro na base do bloco, a mesma foi considerada como sendo rígida, ou seja, $k_r = 1$.

Fator de restrição da estrutura

A restrição é máxima na interface rocha de fundação (ou lastro de concreto magro) com a base da peça e é mínima na face oposta, de acordo com a Fig. 2, montada a partir das expressões do ACI 207.2R²³, para largura da base maior que a altura em duas vezes e meia.

$$k_r = \left[\frac{\frac{L}{H} - 2}{\frac{L}{H} + 1} \right]^{h/H}$$

²¹ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de estruturas de concreto. NBR 6118. Rio de Janeiro, 2003.

²² U.S. BUREAU OF RECLAMATION. Concrete Manual: Water Resources Technical Publication. Denver, 8ed. 267p.

²³ AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Effect of restraint, volume change and reinforcement on cracking of mass concrete. ACI 207.2R-95. Farmington Hills, 1996.

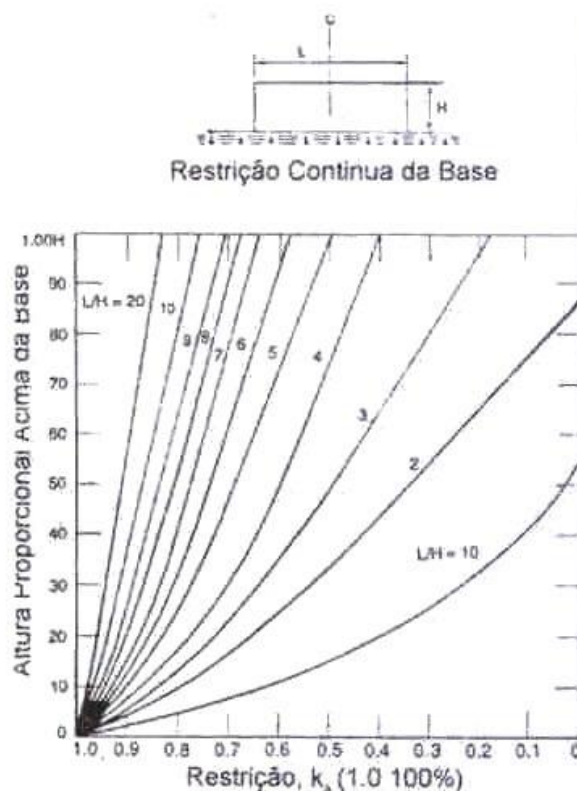


Figura 2. Grau de Restrição à tração na seção transversal.

Método de Schmidt

Utilizou-se o método de Schmidt para avaliar o efeito da dissipação do calor durante a concretagem. Para efeito de cálculo foi utilizado um modelo simplificado, a favor da segurança, considerando apenas a dissipação de calor nas superfícies horizontais do bloco (modelo unidirecional). Foi considerado também as temperaturas reais de lançamento, do ar e do solo (igual a do ar), adotando-se uma difusividade de $0,1083 \text{ m}^2/\text{dia}$, encontrada no STP 169C da ASTM para um concreto mais próximo ao utilizado no presente trabalho, com agregado granítico.

$$dx = 0,23 \text{ metros; } dt = 0,25 \text{ dia}$$

Lançamento em uma só camada

A Fig.3 mostra a elevação de temperatura no bloco com lançamento em uma só camada no período de um ano após a concretagem. Pode-se observar que o concreto das camadas superiores (próximos à interface com o ar) tem um resfriamento mais rápido, na medida em que o solo também esquentar por absorver parte do calor liberado pelo concreto. Isso pode ser notado observando as células em vermelho (temperaturas maiores que $45^\circ\text{C} = 23 + 22,3$).

Tensões de origem térmica

Lançamento em uma camada

Considerando o concreto e as condições de trabalho deste estudo térmico, as tensões atuantes são inferiores às resistentes, como mostrado na Fig.3.

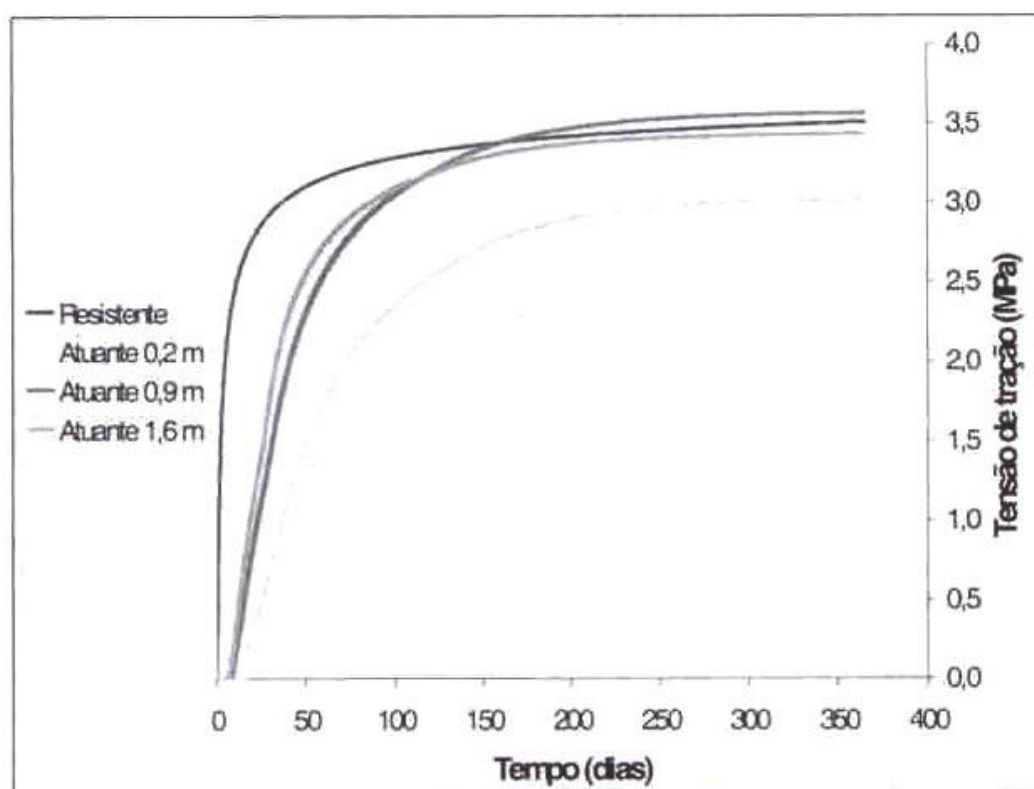


Figura 3. Gráfico de evolução das tensões para lançamento em uma camada, considerando o coeficiente de restrição da fundação ($T_{\text{Lançamento}} = 17 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existem atualmente no Brasil dois documentos normalmente empregados na engenharia de fundações: um é a norma brasileira NBR 6122:1996²⁴ que tem poder de lei; e o outro é o Manual de especificação de produtos e procedimentos ABEF, datado de 1999. Embora se baseie na NBR 6122:1996, este tem uma abordagem diferente, acrescida de alguns dados práticos, e possui a preferência de muitos engenheiros de fundações.

Analisando os documentos, verifica-se que não existem muitos dados referentes à tecnologia de concreto. Apesar de fazerem referência a NBR 6118 – Projeto e execução de estruturas de concreto, certos cuidados referentes ao concreto devem ser especificados.

No caso de blocos de fundação, sapatas e radiers, a norma deve deixar bem claro certos cuidados referentes ao calor de hidratação e à secagem destes elementos de forma a minimizar a fissuração que pode levar ao comprometimento da durabilidade e até mesmo estrutural destes. Outro dado importante é a questão da classificação da agressividade do solo.

²⁴ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. *Projeto e execução de fundações: INMETRO, NBR 6122. 1986. Rio de Janeiro.*

A NBR 6118 utiliza várias classes de agressividade ambiental para o dimensionamento das estruturas de concreto sob o ponto de vista da durabilidade. Uma correlação entre essas classes e o nível de saturação do solo e o seu grau de contaminação (teor e tipo de contaminante) pode e deve ser traçada. Na pior das hipóteses, uma nota sobre alguns cuidados e riscos seria extremamente apropriada.

Com relação às estacas moldadas "in loco" os valores e dados citados nos documentos devem ser revistos. Isso é evidente quando observa-se o manual da ABEF que especifica produtos não mais encontrados hoje em dia – cimento CP I 32 e aço CA-25. A evolução dos materiais de construção civil nos últimos anos, como por exemplo, o aumento na finura dos cimentos e a adição de escória de alto-forno em grandes quantidades nestes, alterou significativamente as propriedades dos concretos executados com estes materiais, tanto no estado fresco como no endurecido.

No caso dos aditivos, a NBR 6122:1996 julga o seu uso na maioria das fundações desnecessário, porém não o proíbe. Entretanto novos produtos como os aditivos base poli-carboxilato possuem efeitos distintos dos demais aditivos, provocando alterações na reologia do concreto. Esse panorama atual, repleto de novidades e de incertezas, deve ser estudado e os documentos devem ser revisados, de preferência aumentando a interação entre os profissionais dessas duas importantes áreas da engenharia.