

# CONCRETO



**IBRACON**

Instituto Brasileiro do Concreto

## RECORDES



Anzac Bridge  
Austrália

## ENSINO DE ENGENHARIA



O protendido na Academia

## ACONTECE



As atividades nas Regionais

**CONCRETO PROTENDIDO  
PARA OBRAS OUSADAS  
E DURÁVEIS**



## JUNTE-SE A ELAS

Associe-se ao IBRACON em defesa e valorização da  
Arquitetura e Engenharia do Brasil!

### PRÉ-MOLDADOS



### EQUIPAMENTOS



Equipamentos e Sistemas de Ensaio



### CONTROLE TECNOLÓGICO



TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO E MATERIAS LTDA.



TECNOLOGIA EM ENGENHARIA



### CONSTRUTORAS



l.a.falcão bauer



EPT - ENGENHARIA E PESQUISAS TECNOLÓGICAS S.A.

### FÔRMAS



A FÔRMA EM LATA REUTILIZÁVEL



Os Mestres em Fôrmas



ITAPESSOCA

### CIMENTO



concreto

### AGREGADOS



Associação Brasileira de Cimento Portland



Cimento para todo uso



### CONCRETO



Engenharia de Concreto



Engenharia e Comércio



SINESCON



### GOVERNO



PETROBRAS



Companhia Energética de São Paulo



Soluções em saneamento

reitor Presidente  
aulo Helena  
reitor 1º Vice-Presidente  
áudio Sbrighi Neto  
reitor 2º Vice-Presidente  
duardo Antonio Serrano  
reitor 3º Vice-Presidente  
ário William Esper  
reitor 1º Secretário  
ntônio Domingues de Figueiredo  
reitor 2º Secretário  
ônia Regina Freitas  
reitor 1º Tesoureiro  
iz Prado Veira Jr.  
reitor 2º Tesoureiro  
ércio Amâncio de Lima  
reitor Técnico  
ubens Machado Bittencourt  
reitor de Eventos  
iz Rodolfo Moraes Rego  
reitor de Pesquisa e Desenvolvimento  
ilio Nogueira Bittencourt  
reitor de Publicações  
ha E. P. G. A. Jacintho  
reitor de Marketing  
agner Roberto Lopes  
reitor de Relações Institucionais  
aulo Fernando Silva  
reitor de Cursos  
uan Fernando Matias Martín  
reitor de Certificação de Mão-de-obra  
ilio Timerman  
essores da Presidência  
exandre Baumgart  
ugusto Carlos de Vasconcelos  
erge Bautlouni Neto  
artín Eugênio Sola  
y Ohtake

REVISTA CONCRETO  
Revista Oficial do IBRACON  
Revista de Caráter Científico, Tecnológico e  
formativo para o Setor Produtivo da Construção  
Civil, para o Ensino e para a Pesquisa em  
concreto

ISSN 1806-9673  
Circulação desta edição 5.000 exemplares  
Publicação Trimestral  
Distribuída gratuitamente aos associados

Publicidade e Promoção  
Renê Regnier de Lima Ferreira  
renelima@ibracon.org.br

Editor  
Abilio Luís Pedrosa MTB 41728  
aluis@ibracon.org.br

Diagramação  
André Luiz de Azevedo Marques Correa

Assinatura e Arrendimento  
Liliasca Lopes  
liliasca@ibracon.org.br

Gráfica: Ipsis Gráfica e Editora

As ideias emitidas pelos entrevistados ou em  
artigos assinados são de responsabilidade de  
seus autores e não expressam, necessariamente,  
opinião do Instituto.

Copyright 2004 IBRACON. Todos os direitos de  
produção reservados. Esta revista e suas partes não  
podem ser reproduzidas nem copiadas, em nenhuma  
forma de impressão mecânica, eletrônica, ou qualquer  
outra, sem o consentimento por escrito dos autores e  
editores.

Comitê Editorial  
Ana E. P. G. A. Jacintho, UNICAMP, Brasil  
Antonio Figueiredo, PCC-EPUSP, Brasil  
Fernando Branco, IST, Portugal  
Luís Carlos Peiretti, FHRCOR, Espanha  
Paulo Helena, IBRACON, Brasil  
Paulo Monteiro, UC BERKELEY, USA  
Pedro Castro, CINVESTAV, México  
Paul Huan, UBA, Argentina  
Rubens Bittencourt, PEF-EPUSP, Brasil  
Ay Ohtake, ARQUITETURA, Brasil  
Abilio Bittencourt, PEF-EPUSP, Brasil  
Entrevista O'Reilly, MICONS, Cuba

IBRACON  
Rua Julieta Espirito Santo  
Número, 68  
Jardim Olímpia  
CEP 05542-120 - São Paulo - SP



## Ensino de Engenharia

O concreto protendido  
nas universidades

50



## Concreto Protendido

Tecnologia a serviço  
de obras ousadas e  
duráveis

09

## E MAIS...

- 5 Editorial
- 6 Converse com o IBRACON
- 9 Personalidade Entrevistada
- 16 Protensão não aderente em edifícios
- 19 Acontece nas Regionais
- 21 Protensão na Rodovia Imigrantes
- 25 Campanha para Revisão da NB-1
- 26 Pisos Industriais Protendidos
- 30 Inovações em Anel Pré-fabricado para Túneis
- 36 O Protendido na Arquitetura
- 39 Durabilidade do Projeto Arquitetônico
- 43 Pátio do Aeroporto Afonso Pena
- 46 Mercado Exportador de Cimentos
- 48 Selantes para Juntas
- 50 Ensino do Concreto Protendido
- 56 Execução de Obras Protendidas
- 67 Apoios Elastoméricos
- 70 Estabilidade em Lajes Protendidas
- 75 Protensão na Bandeirantes
- 85 Recordes



Trecho do voo V007  
onde se observam cabos  
de protensão ancorados na  
mesa superior e bainhas  
dos cabos inferiores que  
serão enfiados após a  
concretagem da aduela de  
fechamento.

Crédito: ECOMIAS - 2001

## É HORA DE FAZER PLANOS...

Ano novo, boa hora para planejar e sonhar... Pela primeira vez, o IBRACON inicia suas atividades em uma nova sede independente e adequada ao porte de suas atividades crescentes.

No dia 16 de dezembro de 2005, logo após a reunião conjunta da Diretoria Executiva e do Conselho Diretor do Instituto, realizou-se a cerimônia de inauguração que contou com a presença de vários sócios, fornecedores, prestadores de serviços, parceiros, mantenedores, coletivos, estudantes e inúmeros amigos. Respirava-se um grato espírito de confraternização e solidariedade como há anos não se via no Instituto, que agora tem um pouco mais de espaço para abrigar espartana, porém comodamente, seus associados, funcionários, diretores e colaboradores.

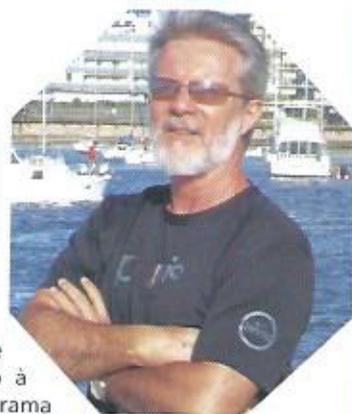
Na nova sede estão definidos os seguintes dez ambientes: recepção e espera; biblioteca e publicações; secretaria de cursos; copa; secretaria de certificação de mão-de-obra; assessoria de imprensa e estagiários de arquitetura e de engenharia; secretaria Administrativa do Instituto; sala de reuniões da Diretoria, Conselho e Comitês Técnicos; arquivos de publicações e espaço externo para confraternizações.

Apesar do maior espaço e comodidades, ainda faltam mobiliários adequados a cada ambiente e que mantenham uma certa homogeneidade e coerência entre eles. Os Diretores Tesoureiros têm se empenhado na obtenção de orçamentos econômicos e, principalmente, na obtenção de recursos extras para fazer frente a essas novas despesas. A confiança no setor empresarial que tem mantido o IBRACON, desde sua fundação e que vem se beneficiando de suas atividades construtivas em prol do mercado de concreto, é a fonte de energia que movimentará a disposição e as ações dos Diretores para sempre seguir adiante e superar as barreiras do caminho.

O IBRACON acaba de dar um outro passo positivo e irreversível em suas atribuições, que é atuar como órgão oficial de Certificação de Pessoal. Isso representa também o início da realização de outro sonho antigo do Conselho e das Diretorias que precederam esta e que pouco a pouco foram preparando as bases para este ousado passo que ora o Instituto dá. O tema é complexo, muito interessante e promissor. O recém novo Diretor Eng. Julio Timerman, voluntário, reconhecido do meio e experiente de outras jornadas, pois recentemente foi Presidente da ABECE, está dedicando-se à coordenação e implantação da certificação de pessoal pelo IBRACON. Ele promete para breve uma visão dessa nova e importante atividade de defesa e valorização da engenharia de concreto no país.

Foi grande o sucesso e a aceitação pelo meio técnico do sistema de cursos implementado pelo IBRACON, denominado Programa Master em Engenharia de Concreto, iniciado em 2005. Para 2006 tem-se planejado uma ampliação e consolidação das atividades de educação continuada através de cursos de especialização tipo pós-graduação "lato sensu". O IBRACON já tem previsto para este ano, cursos nas regionais de Manaus, Sobral, Rio de Janeiro e São Paulo.

As revistas eletrônicas "Materials" e "Structures" tiveram seu primeiro e segundo número lançados, estando planejado uma frequência quadrimestral para essas revistas científicas. Registre-se o enorme trabalho que dá editorá-las. Os Diretores Bittencourt (Túlio e Rubens) vêm superando galhardamente as dificuldades e tornando esse projeto uma realidade atraente e compensadora.



No plano de incentivo e colaboração à gestão de pesquisas, o programa "Concreto Brasil" tem recebido cada vez mais "input" da comunidade científica. Está planejado para este ano, durante o 48º CBC2006, a entrega dos primeiros prêmios às melhores teses e dissertações sobre concreto concluídas nos últimos 3 anos. Também está previsto que o IBRACON passe a receber, arquivar em via eletrônica e disponibilizar para o meio técnico em geral, todas as teses e dissertações sobre concreto defendidas no país nos últimos 10 anos, constituindo um grande e útil banco de dados especializado.

Já que no início do ano vale sonhar, há uma forte corrente dentre os associados para restabelecer o COPMAT. Desta vez deverá ser constituído como um Comitê Técnico, conforme aprovação e deliberação da última reunião da Diretoria em dezembro passado. Este Presidente espera candidatos voluntários e com elevada capacidade de trabalho e mobilização da laboriosa classe de professores de materiais de construção civil, sob o ponto de vista da arquitetura e da engenharia.

O IBRACON tem a nobre missão de contribuir para o desenvolvimento do mercado de concreto com uma visão ampla, abrangente e sistêmica. Neste número a matéria de capa está dedicada à valorização e reconhecimento do histórico, vitorioso e significativo papel do Concreto Protendido no desenvolvimento da engenharia de concreto do Brasil e do mundo. Especialistas do calibre de Augusto Carlos Vasconcelos, Carlos Freire Machado e Manfred Theodor Schmid, pioneiros do concreto protendido no país, discorrem sobre os grandes benefícios desse sistema no progresso da construção civil em geral.

O concreto protendido teve sua teoria e difusão maior em 1930 com Hoyer, através de sua magnífica obra "Concreto Protendido com Cordas de Piano", único aço de alta resistência disponível na época. Uma das primeiras pontes com esse novo sistema construtivo foi "Aue em Sachsen", na Alemanha, construída em 1937. Nos Estados Unidos consta como uma das pioneiras a "Walnut Street Bridge", na Filadélfia, que data de 1949. No Brasil, a "Ponte do Galeão", projetada por Freyssinet, data de 1947. De lá para cá, houve uma enorme evolução nos sistemas de bainha que começaram com papel tipo Kraft e hoje podem ser até de aço galvanizado, cabeças de ancoragem, cordoalhas engraxadas não aderentes, cordoalhas de aço de alta resistência com vários fios, fios lisos ou com mossas, normal ou de baixa relaxação, etc. Mereceu e merece, por sua relativa complexidade, disciplinas específicas nos cursos graduação de engenheiros e arquitetos (veja o interessante artigo sobre Ensino de Protendido) que mostrem e transfiram aos futuros engenheiros e arquitetos os procedimentos seguros de tirar o maior proveito desse jovem sistema construtivo (da ordem de 55 anos), ou seja, praticamente a metade da idade do concreto armado.

Junte-se a nós! Juntos chegaremos mais longe...

*Paulo Helene*

paulo.helene@poli.usp.br

# Converse com o

# IBRACON

## COPMAT - Comitê dos Professores de Materiais de Construção

Prezado Paulo Helene

Depois do sucesso do livro *CONCRETO. Ensino, Pesquisa e Realizações*, fica faltando na academia que o IBRACON lidere a reconstrução do COPMAT e organize um livro sobre *Materiais de Construção* para arquitetos e engenheiros. Assim que o IBRACON aprove essa iniciativa, pode contar comigo para colaborar.

Prof. Dr. Jairo José de Oliveira Andrade  
Socio Individual. Categoria Azul. ULBRA & PUC/RS

Prezado Presidente, prezados Diretores, prezados Conselheiros:

Recebi a Pauta e vejo que terão uma reunião muito ativa e com decisões importantes para o futuro do IBRACON. Gostaria, mais uma vez, de elogiar o esforço realizado para editar o Livro sobre Concreto.

Nesse sentido, vejo que o mesmo esforço deveria ser feito para produzir um livro atual sobre *Materiais de Construção*, uma vez que temos dificuldade de sugerir um livro texto sobre o tema na disciplina de *Materiais de Construção*.

Vejo, como idéia, que o IBRACON poderia liderar o ressurgimento do COPMAT e uma das atividades desse Comitê poderia ser a produção do referido Livro. Isso realmente é uma lacuna que temos na literatura da área de *Materiais de Construção*.

Prof. Dr. Enio Pazini Figueiredo  
Sócio Coletivo. UFG. Categoria Azul. Conselheiro do IBRACON

Mais que oportuna, é uma idéia necessária o ressurgimento do COPMAT, tendo em vista que o carro

chefe da Disciplina de *Materiais de Construção* sempre foi o concreto, com mais de 60% de seu conteúdo. A inclusão dos demais materiais de construção em um livro complementar ao do concreto, para completar o conteúdo desta disciplina, é desejável para preencher algumas lacunas que não foram abordadas pelo nosso livro.

Assim, o estudo sobre princípios de ciências dos materiais e técnicas experimentais, que fazem parte do conteúdo desta disciplina, poderia ser abordada com mais detalhe, sendo focados com vistas ao estudo do concreto, por ser o principal material estudado. Não se deve esquecer que para melhor conhecer-se o concreto como material estrutural deve-se estudar, de modo mais abrangente, os materiais pétreos (agregados), os materiais cerâmicos (argilas, adições minerais), os materiais metálicos (aços) e polímeros (aditivos).

Ver no capítulo 2 de nosso livro breve história do COPMAT e como desapareceu.

Na qualidade de organizador e editor do livro sobre concreto, coloco-me à disposição dos colegas para colaborar nesta empreitada.

Parabéns Enio e Jairo Andrade pela grande lembrança. Vamos também trazer para o IBRACON os poucos professores de *Materiais de Construção* que ainda não são sócios.

Prof. Dr. Geraldo Cechella Isaia  
Sócio Individual Fundador. Categoria Diamante.  
Conselheiro do IBRACON

Obs.: o IBRACON recebeu mais 3 mensagens positivas similares a esta sobre este tema. Por razões de espaço não estão sendo publicadas.

**IBRACON:** A reunião de dezembro de 2005 conjunta do Conselho e da Diretoria aprovou a recriação do COPMAT como mais um dos Comitês Técnicos do IBRACON. Juntos nos fortalecemos...

## Atividades do IBRACON

*Parabéns ao Conselho Diretor do IBRACON e parabéns ao meu iminente, estimado e querido Eng. Prof. Dr. Paulo Helene pela esperada reeleição. O IBRACON em suas mãos consolidou-se e se atualiza.*

*Tenho a honra de envidar o melhor de meu modesto esforço para colaborar com o IBRACON e com os trabalhos de Paulo Helene, Paulo Roberto força, firme na luta, continue também firme na sua missão de servir.*

*Sr. Fábio Luís Pedroso, Parabéns.*

*Hoje a ligação do IBRACON com o Brasil Concreto e Empreendimentos tem outra dimensão de contato. Parabéns ao Sr. também. Parabéns extensivos a todos os dedicados e competentes funcionários do IBRACON, em especial a Arlene.*

*Luiz Roberto Fortes, o "velho" Fortes  
Colaborador incansável do IBRACON*

*Caro Professor.*

*É com imensa satisfação que recebo cada número da revista Concreto. Este último, com a divulgação dos prêmios Holcim, OUSADIA, APO e CONCREBOL foi excelente. Também pelas matérias abordadas e amplitude das tratativas, que seguem com critério e cientificidade como cabe à engenharia e a um periódico de tal envergadura.*

*Gostaria de sugerir a divulgação de obras como, por exemplo: Metrô de Lisboa, Túneis Midmar e outras obras executadas por Empresas nacionais no exterior, nestes casos em específico CNO - Construtora Norberto Odebrech.*

*Como também a atuação de Empresas como a SH Formas e outras que participam de licitações internacionais, como foco na qualidade dos serviços, pré-requisitos e demais características deste mercado externo, como mencionado na entrevista, publicada na Techné/PINI, do Prof.Dr. Antônio Adão da Fonseca, trazido ao Brasil pelo IBRACON. Desculpe-me se perdi algum número onde foram abordadas estas questões.*

*Ademais, quero parabenizá-lo por sua atuação à frente do IBRACON e agradecer a oportunidade de viver a história do concreto, no Brasil, pois acredito que estamos instituindo um anuário com extrema relevância no mercado global, celebrado com a espetacular edição do livro CONCRETO pelo Instituto.*

*Andre Luis Mugnaini*

*Companhia Paulista de Obras e Serviços*

## Barragens Brasileiras ao Abandono

*Caro amigo Paulo Helene. Não caberia uma posição do IBRACON sobre as barragens brasileiras? Veja só:*

*É bastante grave o diagnóstico do Cadastro Nacional de Barragens acerca do estado das represas brasileiras. Segundo o órgão, criado pelo Ministério da Integração Nacional, há ao menos 20 barragens que correm sérios riscos de rompimento por falta de manutenção.*

*Há obras que não recebem verbas para reparos há quase 20 anos. No atual governo, em contradição com as promessas de que em 2005 a infraestrutura receberia mais investimentos, o Departamento de Nacional de Obras contra a Seca (DNOCS) - o maior construtor de barragens do país - dispõe de apenas R\$ 2,9 milhões para reparos, quando precisaria de cerca de R\$ 30 milhões.*

*Esse cenário pode ser ainda mais sombrio, considerando-se o fato de que há no Brasil centenas de barragens médias e milhares de pequenas represas que não são objeto de nenhuma fiscalização federal.*

*Em condições como essas, não é necessário nenhum cataclismo para provocar um desastre. Bastam chuvas mais fortes para causar estragos consideráveis e colocar a população em risco. Exemplo disso foi o incidente ocorrido na Paraíba, em junho do ano passado, quando, após alguns dias de chuva, uma barragem rompeu-se, afetando seis municípios, matando cinco pessoas e deixando mais de 4.000 desabrigados.*

*Infelizmente, diante da restrição aos investimentos públicos, a solução desses problemas deverá continuar sendo adiada. Vai-se, assim, sucateando a infra-estrutura instalada ao mesmo tempo em que novos projetos esbarram em obstáculos para sair do papel. Situações como essa enfatizam a necessidade de uma ampla reformulação das despesas do Estado, que não raro gasta muito onde não deveria e segura recursos onde precisaria investir.*

*Paulo Sérgio F. de Oliveira*

*Sócio Mantenedor. Categoria Diamante. Sika Brasil - Construction Division*

**IBRACON:** Considerando a gravidade e importância desse tema, o Conselho Editorial da Revista IBRACON decidiu convidar o CBDB para editar um número especial e histórico sobre as barragens brasileiras a ser publicado em maio de 2006.

## Congreso Paraguayo del Hormigón

*Estimado Prof. Paulo Helene: en primer lugar quiero felicitar el IBRACON por la brillante organización del Congreso realizado en Recife bajo tu presidencia. Quiero decirte que muy pocas veces he asistido a un evento de esa magnitud con todos los detalles cuidados al máximo.*

*Nosotros aquí en el Instituto Paraguayo del cemento y del hormigón (IPCH), estamos preparando el segundo número del boletín Técnico que lo*

queremos lanzar a fines de diciembre. Todo es muy difícil, pero estamos realizando un esfuerzo para realizarlo.

Desde el IPCH, estamos asesorando a estudiantes que están realizando trabajos final de grado, Tesis, en diferentes temas relacionados a hormigón, principalmente a alumnos de la Facultad de Ingeniería UNA, y hasta tenemos una idea loca de realizar Congresos Paraguay del hormigón bajo el ejemplo Uds.

Nos comunicaremos nuevamente.

Prof. Ing. Augusto Acosta  
Sócio Individual do IBRACON. Categoria Azul. Gerente Técnico IPCH

---

## Paixão pelo Concreto e pela Engenharia

Querido Prof. Paulo: pode ter certeza que você conseguiu transmitir sua paixão nessa magnífica palestra. E foi absolutamente contagiante e gratificante assisti-lo.

Não foi nada cansativo! Estou terminando meu curso de arquitetura na UFMS e vou me casar daqui um mês, mas queria que você soubesse que eu adorei...

Carine Brasil da Silva Santos (nome fictício)  
5º ano Arquitetura UFMS, após palestra em Campo Grande/MS

---

## Gestão de Resultados

Em uma cidade do interior viviam duas mulheres que tinham o mesmo nome, Flávia.

Uma era freira e a outra, taxista. Quis o destino que morressem no mesmo dia. Quando chegaram ao céu, São Pedro esperava-as.

"O teu nome?" "Flávia"

"A freira?" "Não, a taxista."

São Pedro consultou as suas notas e disse:

"Meus parabéns, ganhastes o paraíso. Leva esta túnica com **fiOS de ouro**. Pode entrar e desfrutar."

"O teu nome?" "Flávia, a freira."

"Meus parabéns, seja bem vinda, ganhaste o paraíso. Leva esta túnica **de linho**. Pode entrar e desfrutar."

Um pouco triste, a Freira diz:

"Desculpe Santo Senhor, mas deve haver um engano. Eu sou a Flávia, a freira!"

"Sim, minha filha, e ganhaste o paraíso. Leva a sua túnica de linho..."

"Não pode ser! Eu conheço a outra, Senhor. Era taxista, vivia na minha cidade e era um desastre! Subia as calçadas, batia com o carro todos os dias, conduzia pessimamente, xingava e assustava as pessoas. Nunca mudou, apesar das multas e

repreensões policiais. E quanto a mim, passei 75 anos pregando todos os domingos na paróquia, dei minha vida à causa. Como é que ela recebe a túnica com fios de ouro e eu esta tão simples?"

"Não há nenhum engano - diz São Pedro compreensivo. É que, aqui no céu, de uns anos para cá, adotamos uma gestão mais profissional."

"Como assim, não entendo!"

"Eu explico: Já ouviu falar de Gestão de Resultados? Agora nos orientamos por objetivos e observamos que, nos últimos anos, cada vez que tu pregavas, as pessoas dormiam. E cada vez que ela conduzia o táxi, as pessoas rezavam e invocavam por Ele."

"Com a nova política, resultado é o que importa!"

Eng. MSc. Carlos Eduardo Xavier Regattieri  
Sócio Individual. Categoria Azul.

---

## Ação da Temperatura nas Estruturas de Concreto

Caros Colegas,

A antiga NBR-6118 em seu item 3.1.1.4 (Variação de temperatura) mencionava: "Em peças permanentemente envolvidas por terra ou água e em edifícios que não tenham, em planta, dimensão não interrompida por junta de dilatação maior que 30m, será dispensado o cálculo da influência da variação da temperatura."

Procurei algo parecido na norma atual, mas não consegui encontrar. Pergunto aos senhores, pela norma vigente é obrigatório a análise estrutural de uma edificação qualquer levando-se em consideração a variação térmica?

Caso a resposta da questão anterior for negativa, ainda existe uma dimensão limite como os antigos 30 metros?

É válido, mesmo considerando a variação térmica no estudo, dimensionar uma edificação com quase 60 metros sem a colocação de juntas?

Outra curiosidade, alguns dos senhores já teve a oportunidade de pegar algum projeto arquitetônico em que o projetista já teria previamente locado uma junta de dilatação?

Eng. José Deguchi Jr.  
Eng. Civil, Cabo Frio - RJ

**IBRACON:** O texto da norma NBR 6118 de 2003 deixa mais liberdade ao projetista e, conseqüentemente, pressupõe um pouco mais de conhecimento e competência. Não existe mais limite e pode ser dimensionada uma estrutura continua com 60m. Arquitetos mais experientes costumam definir as juntas de dilatação e isso, em geral, é altamente positivo. ◆

## PERSONALIDADE ENTREVISTADA

### Carlos Freire Machado

Engenheiro Civil pela Escola Nacional de Engenharia (atual UFRJ), formado em 1945.

Prof. de Concreto Protendido IME - Instituto Militar de Engenharia (RJ)

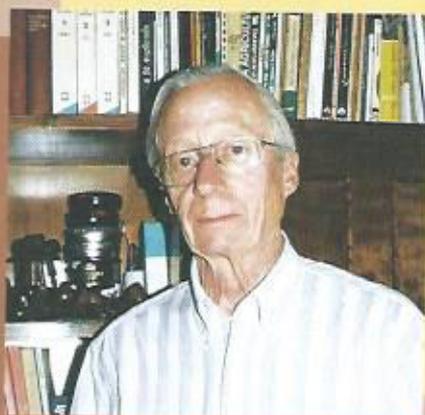
Prof. de Concreto Protendido da Escola de Engenharia da Universidade Gama Filho (RJ)

Diretor Técnico da STUP - FREYSSINET no Brasil

Engenheiro-consultor de várias empresas.



### Manfred Theodor Schmid



Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná, formado em 1957

Sócio majoritário e calculista de estruturas de concreto armado, concreto protendido, madeira e aço da M. Schmid Engenharia Estrutural S/C Ltda. , Curitiba - PR

Consultor técnico e calculista de estruturas em concreto protendido da Rudloff Sistema de Protensão, São Paulo - SP

Professor titular do Departamento de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná.

Professor titular do Departamento de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

### Augusto Carlos de Vasconcelos

Formado em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da USP em 1948

Professor titular de Concreto Protendido da Escola de Engenharia da Universidade Mackenzie

Fundou a primeira fábrica de Estruturas Pré-moldadas de Concreto Protendido do Brasil (Protendit)

Assessor da presidência e consultor do IBRACON



**IBRACON:** O que é o concreto protendido?

**Vasconcelos:** Na literatura portuguesa, o termo é mais compreensível "Betão pré-esforçado". Em Portugal não se fala "concreto" e sim "betão". Quando o concreto recebe um "pré-esforço", ele se diz "protendido", que poderia ser interpretado como previamente tensionado. A protensão, ou tensão prévia, existe na natureza em numerosos casos. Nossa pele é protendida. Isto se percebe imediatamente quando um caco de vidro a corta: as bordas se retraem, porque na seção de corte as tensões deixam de existir. É por esse motivo que, no fim de qualquer cirurgia, as bordas do corte são puxadas uma contra a outra e assim mantidas "por meio de pontos". Tais pontos restauram a protensão perdida.

No concreto, pode-se aplicar um esforço por meio de um cabo de aço colocado previamente dentro de um tubo, sem aderir ao concreto. Quando o concreto adquirir certa resistência, é possível alongar o cabo por meio de macacos que se apóiam na superfície do próprio concreto. A força de reação do cabo esticado comprime o concreto e ele fica protendido. Este procedimento melhora muito o desempenho do concreto, pois permite o uso de aços de elevadíssima resistência, totalmente aproveitados, sem que se manifeste qualquer fissuração do concreto.

"Ao comprimirmos o concreto pela protensão, criamos um crédito de compressão que permite diminuir dimensões e obter peças mais esbeltas, mais elegantes e mais econômicas."

Manfred

**IBRACON:** Quais as vantagens e desvantagens do concreto protendido em relação ao concreto armado? Em que obras o uso do concreto protendido possibilitou soluções econômicas e competitivas.

**Manfred:** O concreto é certamente uma das invenções mais úteis e espetaculares do homem. O seu uso é tão difundido no mundo inteiro que nem mais damos o devido valor à excelência deste material de construção. A par de suas grandes qualidades, porém, apresenta a característica de possuir pouca resistência à tração e uma deformabilidade intrínseca (retração e fluência), razão pela qual justamente é armado. Ao comprimirmos o concreto pela protensão, criamos um crédito de tensões de compressão, crédito este que nos permite diminuir as dimensões e obter peças mais esbeltas, mais elegantes e possivelmente mais econômicas.

Há belíssimos exemplos de aplicação da protensão do concreto em todos os tipos de estruturas, mas principalmente em grandes vãos, em pontes, e cite-se aqui o recém-inaugurado Viaduto de Millau na França, com 2460m de comprimento e alguns pilares com 343m de altura! Talvez mereçam ser lembrados

também pisos e pistas aeroportuárias, onde graças à protensão se tem placas enormes com espessuras de 20, 18 e até menos centímetros, para cargas de rodas das grandes aeronaves.

**Vasconcelos:** Ao colocar no concreto armado aços de resistência cada vez maior, aderidos ao concreto, verifica-se que, ao ser atingido certo nível de carregamento de flexão, as partes tracionadas do concreto começam a fissurar. O aço que existe nessa região fissurada continua resistindo e a peça não se rompe. Seu estado, entretanto, pode ser inaceitável. É necessário limitar as aberturas de fissuras e também as flechas, que aumentam muito em relação à situação sem fissuras. Fissuras muito abertas facilitam também a entrada de agentes agressivos. A corrosão da armadura ocasiona seu inchamento e a expulsão do concreto em volta do aço.

No concreto protendido, as tensões de tração no concreto ficam muito reduzidas ou chegam a não existir. Por isso, o concreto protendido com aderência apresenta em geral melhor desempenho do que sem aderência.

É possível projetar três peças com a mesma capacidade portante, uma em concreto armado e outra em concreto protendido com armadura aderente e uma terceira em concreto protendido com armadura sem aderência. As três irão romper com a mesma carga. Pode acontecer que a terceira peça ao romper nem apresente fissura, a segunda mostre um quadro de fissuração aceitável para cargas menores,

mas comprometedor para a durabilidade. A primeira peça estará tão fissurada que já não teria nenhuma possibilidade de ser preservada - mesmo antes de ocorrer a ruptura e sua deformação, não seria reversível como a das peças protendidas. As peças protendidas, ao ser removido o carregamento, podem retornar à situação inicial quase sem flecha.

Existem numerosos exemplos de estruturas protendidas dentro de nossa cidade. Quase todas as pontes urbanas são de concreto protendido. A maioria das estruturas pré-moldadas são executadas com elementos de concreto protendido com aderência inicial: telhas de seção trapezoidal, vigas-calhas, vigas em forma de Y, vigas-shed (em forma S deitado). Balanços grandes exigem o uso de concreto protendido para limitação de dimensões e de flechas. Somente para citar algumas obras importantes, saltam-nos à vista o museu de arte moderna do Trianon, os elevados Costa e Silva, o Viaduto Antártica, o Museu da Escultura, o Edifício CENU, a maior parte dos edifícios com lajes nervuradas sem vigas ou com vigas chatas de vãos superiores a 10 m.

**Machado:** De uma maneira geral, as obras de concreto protendido são executadas segundo critérios econômicos e técnicos que as tornam competitivas, ou até mesmo únicas, com relação a soluções com outros materiais.

Suas vantagens estão em permitir o uso de armaduras de aço de alta resistência conjugadas ao concreto de alta resistência; diminuir as deformações decorrentes do peso próprio, possibilitando peças com menor altura; aumentar o momento de fissuração da peça; diminuir a força cortante dos carregamentos, possibilitando peças com menor espessura de alma; permitir o emprego do concreto como material homogêneo, no caso de protensão completa; permitir o emprego de peças pré-moldadas que sejam manipuladas por equipamentos de levantamento e transporte; possibilitar o reforço de estruturas de concreto armado e de outros materiais com o uso somente de armadura de protensão; possibilitar o descimbramento da peça aos sete dias de idade do concreto.

Com relação às desvantagens: exige execução mais rigorosa da qualidade da obra; exige projeto com maior grau de detalhamento; exige controle rigoroso da protensão; no caso de estruturas hiperestáticas, a protensão pode induzir em outras partes da estrutura esforços desnecessários ou nocivos.

"Sempre que o vão ultrapassa certo limite, a protensão se torna indispensável. Peças muito longas tendem a fissurar, mesmo sem qualquer carregamento externo."

Vasconcelos

**IBRACON:** *Existem campos de aplicação onde só é possível usar concreto protendido?*

**Machado:** Construções em balanços sucessivos; pisos industriais sobre o solo, com grandes áreas, sem juntas; pistas de aeroportos sem juntas; estruturas em viga reta com vãos superiores a 5000m; obras com concreto sem tensões de tração.

**Vasconcelos:** Sempre que o vão ultrapassa certo limite, a protensão se torna indispensável. Peças muito longas tendem a fissurar, mesmo sem qualquer carregamento externo, sob influência da retração do concreto e de abaixamentos de temperatura. Pistas de decolagem em aeroportos possuem desempenho tanto melhor quanto menor for o número de juntas de dilatação. Por isso, se usa o concreto protendido nessas pistas com comprimento de até 300 m sem juntas. Tais pistas são protendidas tão cedo quanto possível, com as regiões onde ficam embutidas as ancoragens pré-fabricadas e já endurecidas. A protensão é aplicada inicialmente com valor muito pequeno, apenas para

compensar o encurtamento provocado pela retração, impedindo que surjam fissuras nas primeiras horas.

Vigas de transição em edifícios altos são protendidas por etapas, à medida que a construção progride. A protensão final, se aplicada no início, quando a viga ainda não recebeu uma fração significativa do carregamento, pode ocasionar danos e até mesmo ruína da peça. A protensão é quantificada para combater a carga aplicada. Se essa carga não existir, a viga vai trabalhar ao contrário para resistir ao carregamento total. Portanto, não precisaria ser protendida. Já houve casos, em São Paulo, em que foi aplicado inicialmente um excesso de protensão inicial com a viga totalmente descarregada, causando contraflechas enormes e fissuras nos apoios.

O Museu de Arte Moderna do Trianon não poderia existir em concreto, sem uso da protensão. Outro exemplo é o de tanques para depósitos de gás ou gasolina ou mesmo água, que necessitam da protensão para evitar vazamentos.

**IBRACON:** *Quando surgiu o concreto protendido? Quais problemas levaram ao desenvolvimento desse novo sistema construtivo?*

**Mantfred:** A primeira tentativa para protender o concreto se deve a Jackson que, em 1886, requereu em San Francisco uma patente de tirante protendido com barra rosqueada e ancorado com clavetes. Seguiu-

se uma patente requerida por Döhring, em Berlim, embutindo arames de aço tensionado em peças pré-moldadas. Depois o tema foi abordado, em 1896, por Mandl, em Viena; em 1905, por Lund, na Noruega, e assim em seqüência, um grande número de pesquisadores. O primeiro a empregar cabos curvos foi Steiner nos Estados Unidos em 1908.

Na França, Eugenio Freyssinet, desde 1911, se dedicou intensamente ao estudo da deformação lenta e da retração do concreto, sendo o primeiro a tirar conclusões destas características e aplicá-las posteriormente ao concreto protendido. Em 1934, Dischinger requereu em Berlim a patente para protensão com cabos poligonais externos. E assim em seqüência: Magnel, na Bélgica; Morandi, na Itália; Emil Moersch, em Stuttgart, na Alemanha; Hubert Rüsche, em Munique; Ros, na Suíça e o grande Leonhardt, também em Stuttgart. Este último marcou de maneira indelével a Engenharia na época da reconstrução da Alemanha, depois da Segunda Grande Guerra, deixando-nos um exemplo notável de iniciativa, criatividade, coragem, bom senso e amor à Engenharia.

Enfim, o Estado da Arte em que se encontra o Concreto Protendido hoje, se deve ao entusiasmo e colaboração de um número muito grande de professores, engenheiros e construtores em várias partes do mundo. Na verdade, a retração e a fluência do concreto, que consumiam antecipadamente parte da força de protensão, se constituíram no grande desafio que conduziu aos aços de elevada resistência e elasticidade que hoje temos.

**Machado:** A idéia da protensão remonta há muitos séculos. Contudo, no final do século XIX e início do XX, surgiram as primeiras tentativas de aplicá-la ao concreto, com o objetivo de combater as zonas tracionadas do concreto. Trabalhos de DOEHRING (1888), KOENER e LUNDE (1907-1912), HOYER (1924), CONSIDÈRE, BACH e FREYSSINET (1926-1928) marcaram aquelas tentativas na Alemanha, USA e França.

Na década de 20 do século passado, já se dispunha de concretos de alta resistência e de aço de alta resistência, que, entretanto, não podiam ser empregados no concreto armado comum por questões de aderência e fissuração. Naquela época, o uso do concreto estava limitado à resistência máxima de 14MPa, e a armadura de aço doce, a 180MPa. Foi então que pesquisas definitivas de FREYSSINET sobre deformação lenta e retração levaram ao emprego de aço de alta resistência com diâmetro de 5mm tensionado e ancorado em dispositivos especiais.

**Vasconcelos:** Logo no início do concreto armado na Alemanha, existia a dúvida da possibilidade de corrosão da armadura provocada pela fissuração. As obras calculadas para não fissurar ficavam muito anti-econômicas e com dimensões excessivas. Döhning, em Berlim, foi o primeiro a aplicar a protensão em fios da armadura de placas de concreto com a finalidade de aumentar a capacidade portante e tirou patente do processo em 1888. Wettstein, em 1919, na Boêmia, usou pela primeira vez as cordas de piano com fios muito finos esticados e ancorados por simples aderência, em placas e obteve patente em 1922. Na França, foi Freyssinet quem começou a aplicar a protensão em tirantes de galpões industriais com o objetivo de diminuir seu alongamento em carga. Foi ele o primeiro a perceber a possibilidade de obter uma protensão permanente apenas com o uso de aços de elevada resistência, desde que fossem consideradas as perdas por retração e fluência do concreto. Em 1934, na Alemanha, Dischinger propôs o uso de cabos externos com a forma de viga-vagão, para aplicação

da protensão externa não aderente. Foi na década de 1943 a 1953 que se consolidou na Europa o concreto protendido, através das Diretrizes preparadas na Alemanha para o uso de Construções Protendidas.

A primeira ponte na Alemanha foi a famosa ponte Aue em Sachsen, construída em 1937, seguindo as idéias de Dischinger, precisava cruzar uma rua no pátio da estação ferroviária, com altura disponível muito reduzida de  $1/36$  do vão de 69 m.

A aplicação da protensão foi decorrente de se resolver o problema da esbelteza, reduzindo a altura no vão e aumentando nos apoios para  $1/15$  do vão. Neste caso não foi a limitação da fissuração o motivo principal e tal ponte se tornou um símbolo do nome de Dischinger.

O concreto protendido com pré-tração (fios aderentes) teve sua repercussão máxima em 1930 com Ewald Hoyer, que preconizava o uso de fios muito finos, com diâmetro inferior a 2 mm, para que a ancoragem se realizasse com valor total 5 cm para dentro da extremidade. Hoyer publicou sua famosa obra "Concreto Protendido com cordas de piano", usando os aços mais resistentes disponíveis na Alemanha.

"A idéia da protensão remonta há muitos séculos. Contudo, no final do século XIX, surgiram as primeiras tentativas de aplicá-la ao concreto, com o objetivo de combater as zonas tracionadas."

Machado

**IBRACON:** Quando o concreto protendido começou a ser usado no Brasil? Quem foi o introdutor dessa tecnologia e por que resolveu trazê-la para o país?

**Vasconcelos:** O concreto protendido com pós-tração começou com a Primeira Ponte do Galeão, de uma maneira inacreditável. O projeto já havia sido detalhado em concreto armado pelo Eng. Feliciano Penna Chaves. Foram escolhidos diversos vãos que conduziam à maior economia para viga contínua: 43,40 m no vão maior, continuando para ambos os lados com vãos de 37,20 – 28,30 – 19,40 m. A obra já estava em execução e os tubulões pneumáticos (os primeiros no Brasil !) já estavam prontos, quando alguém fora de ocasião levantou a pergunta: Porque não executar a ponte em concreto protendido ? Isto aconteceu em abril de 1947.

Por uma coincidência, o Eng. Alberto de Mello Flores (diretor do departamento de engenharia civil do Ministério da Aeronáutica), consultado por telegrama, encontrava-se em missão na Europa. Ciente do caso, deu sua imediata concordância, desde que não fosse alterado o custo total. E a obra saiu !!....Freyssinet não conseguiu igualar os vãos e precisou fazer um cálculo para cada vão. E o fez com grande maestria !

No campo da pré-tração o Eng. Ruben Duffles de Andrade conseguiu um contrato de cessão de direitos com Ewald Hoyer em dezembro de 1951. Praticamente, Duffles Andrade teve que inventar o processo no Brasil, pois as informações prestadas por Hoyer não podiam ser transferidas para o Brasil, que não estava preparado industrialmente para tais aplicações. Duffles registrou patente válida por sete anos. Sem se importar com patentes, Paulo Lorena e eu começamos a fabricar peças protendidas (o Paulo somente estacas e eu, galpões industriais completos) com fios de 5 mm não permitidos no sistema Hoyer. Duffles Andrade poderia ter criado um impasse jurídico, mas muito elegantemente evitou contendas.

Duffles Andrade trouxe o sistema para o Brasil na tentativa de montar uma indústria de caixas d'água domiciliares, postes, moirões de cerca, entrada de luz em residências. Paulo Lorena queria fabricar competitivamente suas próprias estacas para serem aplicadas em suas próprias obras. Eu me deixei levar pela ambição de montar uma fábrica inédita de estruturas protendidas, sem ter capital para tanto...

---

**IBRACON:** Quando o senhor tomou contato com o concreto protendido? O que mudou em sua atividade profissional com o uso dessa tecnologia?

**Manfred:** Tive a felicidade de tomar contato com o assunto quando ainda era aluno do quinto ano do Curso de Engenharia na Universidade Federal do Paraná, em 1957, nas aulas de Pontes, ministradas por mestres notáveis, que foram Máximo Azinelli e Euro Brandão; depois em Stuttgart, na Alemanha, como aluno do Prof. Fritz Leonhardt, a quem dedico incondicional admiração e como estagiário na firma Wayss und Freitag, também em Stuttgart. De volta ao Brasil, fundamos com a ajuda de 42 acionistas amigos, uma firma de protensão chamada Engenharia Brasileira de Protensão. Do grupo de acionistas fizeram parte grandes engenheiros como, entre outros, Paulo Augusto Wendler, Ralph Jorge Leitner, Euro Brandão e Wilson Picheth. Tínhamos a licença de uso de uma excelente patente de protensão, o Sistema VSL da Suíça, com o qual protendemos algumas obras interessantes como, por exemplo, as vigas dos munhões do Vertedouro da Barragem de Estreito.

Defendi tese para o concurso de Professor Titular na Disciplina Concreto Armado e Protendido na

Universidade Federal do Paraná e nunca mais perdi o contato diário com o assunto, tendo tido nos últimos vinte anos a satisfação de trabalhar como consultor da firma Rudloff Protendidos, que veio a assumir a VSL no Brasil.

**Marinho:** Tomei contato do o concreto protendido em 1946, quando trabalhava na Civilhidro como engenheiro-ajudante, recém-formado.

Interessando-me pela nova tecnologia, fui convidado a pertencer aos quadros da STUP, firma francesa, detentora da patente Freyssinet para concreto protendido, estabelecida no Rio de Janeiro. Então passaram-se trinta anos da minha vida profissional elaborando projetos, acompanhando obras, fazendo palestras pelo Brasil, participando de seminários, promovendo cursos de extensão e lecionando no IME – Instituto Militar de Engenharia e na Escola de Engenharia da Universidade Gama Filho, a cadeira de concreto protendido até a década de 80.

**Vasconcelos:** Meu primeiro contato com o concreto protendido aconteceu numa única aula do curso normal de concreto armado, dado pelo Prof. Nilo Amaral em 1948. Foi muito superficial e sem interesse prático. Posteriormente, o Prof. Figueiredo Ferraz deu uma série de conferências na Escola Politécnica da USP sobre esse assunto. Logo os espectadores perceberam que tais palestras eram excessivamente teóricas e tratavam com ênfase

apenas o cálculo das perdas progressivas de protensão, sem um único exemplo numérico. Tinha-se a impressão de que o estudo do concreto protendido se limitava ao cálculo das perdas. Nenhuma obra foi citada. O curso era uma reprodução do que existia na literatura estrangeira.

Quando ganhei a Bolsa de Estudos de 14 meses na Alemanha, da Fundação Alexander von Humboldt, o Prof. Hubert Rüschi dava pela segunda vez em Munique seu curso de *Vorgespannten Konstruktionen* e eu me inscrevi. Não poderia perder tal oportunidade que nunca teria no Brasil. Foi muito útil e recebia em cada aula (um só semestre!) as apostilas impressas correspondentes. Além das aulas teóricas, o Prof. Herbert Kupfer, assistente de Rüschi, que acabava de fazer seu doutorado, dava exercícios numéricos acompanhando as aulas teóricas. Foi um sucesso. Senti pela primeira vez o que era o concreto protendido. Havia também programadas visitas a fábricas de pré-fabricação, tendo sido possível coletar folhetos e amostras.

“No curso do Prof. Hubert Rüschi, em Munique, senti pela primeira vez o que era o concreto protendido.”

Vasconcelos

influência de outros fatores, como o econômico, favoritismo e preferência do momento por um outro material, favores fiscais, política comercial da firma, etc.

**Vasconcelos:** Não creio existir um desinteresse pelo concreto pretendido. O que realmente existe é uma deficiência de conhecimento. Na hora em que se mostrar que a protensão não é mais complicada do que a aplicação de uma carga uniforme numa viga bi-apoiada, qualquer um vai querer usar a protensão. É só uma questão de mostrar que é fácil. O que está faltando é apenas uma questão didática do que realmente é simples. Sem minúcias. Sem cálculo de perdas. Sem mistérios. Se nas universidades e institutos de pesquisa, os que ensinam tiverem vontade de mostrar como é simples a aplicação da protensão, todos vão aderir. Enquanto prevalecer o mistério, não adianta insistir.

As empresas também acham que somente os especialistas são capazes de aplicar a protensão. É como uma pessoa que nunca comeu ostra na juventude: descarta sem provar. Uma vez vencida a inibição, se apaixona.

---

**IBRACON:** *Que sugestões o senhor daria para incrementar o uso do concreto pretendido no Brasil?*

**Machado:** Hoje em dia, a atividade de uma empresa está sob a regência de seu departamento comercial. Vai longe o tempo em que a engenharia era praticada de maneira romântica de engenheiro para engenheiro. Portanto, os maiores interessados no desenvolvimento do concreto pretendido devem se mobilizar organizando seminários; mobilizando as entidades do setor, as siderúrgicas que fabricam trefilados; praticar marketing junto às empreiteiras, junto aos projetistas e arquitetos, etc.

Junto às universidades, é mostrar o absurdo da formação de engenheiros com desconhecimento do concreto pretendido.

**Manfred:** O que mais nos falta no Brasil é a educação, em quase todos os níveis. Se a tivéssemos, por certo grande parte dos problemas do país se resolveria espontaneamente. Conseguir despertar no aluno, em lugar da fobia pelo diploma, o amor pelo conhecimento exato dos assuntos. Protensão do concreto é um assunto exato, não se pode usar cabos

de protensão a menos e nem a mais. Cabe aqui aquele pensamento que diz 'na natureza não há castigos nem recompensas, há conseqüências'.

---

**IBRACON:** *Qual é a importância do Instituto para o desenvolvimento do concreto no Brasil?*

**Vasconcelos:** O IBRACON é a única instituição privada capaz de reunir num evento mais de mil profissionais espalhados por todo o Brasil. Esses profissionais são estimulados a escrever suas realizações para serem ouvidos por técnicos mais selecionados do país. Por outro lado, ouvem e tomam conhecimento do que se pode realizar, atualizando seus conhecimentos. Conseguem se inteirar de como fazer inovações e com quem adquirir o "know-how" para concretização de suas idéias. Tal serviço prestado pelo IBRACON não existia na década de 40 em que os engenheiros

precisavam tomar conhecimento do que se fazia no estrangeiro, ignorando nossas realizações. Além disso, o IBRACON promove "workshops" para divulgação do que fazemos e como fazemos. Institui prêmios para mostrar que até mesmo estudantes ainda não formados podem realizar com sucesso. É um papel que complementa muito bem o trabalho das universidades. Com despesas muito pequenas, o estudante pode se associar ao IBRACON e receber

informações preciosas para sua atividade profissional futura.

**Manfred:** Com muita satisfação vejo no IBRACON um centro intelectual por excelência para a divulgação e aplicação correta do concreto no Brasil. Neste sentido, tem ele feito um grande esforço bem coordenado e eficiente. Dentro do que acima foi dito, possui grande força e dela faz uso, para colaborar no processo educativo e de abertura para o mundo, de todos os participantes, principalmente dos mais jovens.

**Machado:** O IBRACON é uma instituição de renome pelo seu trabalho no desenvolvimento do concreto no Brasil. Ele tem um lugar importante nesta tarefa promovendo congressos, simpósios, seminários, conferências, divulgando trabalhos de pesquisa e realizações de terceiros, participando na elaboração das normas estruturais, elaborando publicações técnicas, enfim, constituindo um fórum de debate de todos os profissionais que militam na construção no Brasil. É um pólo de convergência de idéias, de contribuições que engratecem a engenharia nacional. ♦



"Com muita satisfação, vejo no IBRACON um centro intelectual por excelência para a divulgação e aplicação correta do concreto no Brasil."

Manfred

# Por que Usar a Protensão não Aderente em Edifícios?

Eng. Eugênio Luiz Cauduro  
Consultor em Protensão e Metodologias  
Construtivas em Construção Civil

Em primeiro lugar, lembremo-nos do início da aplicação da protensão no Brasil. Em 1949, foi inaugurada a primeira ponte em concreto protendido do Brasil e das Américas, a Ponte do Galeão, que dá acesso aquele aeroporto do Rio de Janeiro, e foi recorde mundial de vão durante alguns anos. Um dos integrantes da equipe de sua construção foi o jovem engenheiro Carlos Freire Machado, que depois se tornaria presidente da STUP - Processos Freyssinet S. A. e foi o grande professor e responsável pela divulgação da protensão por todo o Brasil. Essa ponte, que continua sendo o principal acesso ao Aeroporto do Galeão, foi construída no sistema não aderente, usual ainda por muitos anos no Brasil e no mundo.

O sistema não aderente de então consistia em se pintar os fios com betume, envolvê-los com uma ou mais camadas de fitas de papel Kraft enroladas helicoidalmente sobre os fios, formando uma bainha para isolá-los do concreto e permitindo o deslizamento dos fios em seu interior. Essas fitas de papel foram substituídas por plástico, mas ainda não estanques, pois permitiam que a nata de cimento do concreto pudesse muitas vezes penetrar em seu interior.

Em seguida, na Europa e no Brasil, desenvolveu-se o uso de bainhas metálicas, tubos feitos de chapa fina de aço que poderiam conter diversos fios de aço de protensão em seu interior e que possibilitavam a injeção de uma mistura de cimento, areia e água, pasta protetora contra a corrosão do aço, deixando-se, então, de pintar os fios com betume para protegê-los. Anos depois, com o avanço das técnicas de produção de pasta e da operação de injeção em si, os projetistas estruturais passaram a considerar essa pasta não só protetora contra a

corrosão, mas também como interveniente na aderência do aço de protensão à massa de concreto que envolvia a bainha. É a protensão aderente.

### Evolução

Ao mesmo tempo, nos Estados Unidos, desenvolveu-se o uso de bainhas plásticas em forma de tubos, que também poderiam conter os fios em seu interior e permitiam a injeção de pasta de cimento. Paralelamente a isso, também nos Estados Unidos, iniciava-se a protensão leve, assim denominada por ser aplicada por cabos de pequena potência espalhados principalmente em lajes de edifícios. Os cabos eram formados por fios de aço de protensão, engraxados para proteção contra a corrosão, e envolvidos por fitas plásticas enroladas helicoidalmente. Passaram para uso de fitas longitudinais dando uma ou duas voltas sobre o cabo e seladas longitudinalmente com máquinas. Esse período foi marcado por uma série de incidentes em obras, devido à não estanqueidade das bainhas, que permitiam o acesso de agentes agressivos ao aço, principalmente da água com os sais muito utilizados no país para derreter a neve caída sobre os edifícios de estacionamentos de automóveis.

A evolução final já data de mais de 30 anos, com o uso de cordoalha individual engraxada que ganhou uma capa (bainha) tubular de polietileno de alta densidade, extrudada de forma contínua sobre a cordoalha, promovendo uma perfeita estanqueidade e eliminando os problemas anteriores de possibilidade de acesso de agentes corrosivos ao aço.

## Processo Prático Integral

A praticidade típica americana desenvolveu todo um processo de protensão, com dispositivos, peças e equipamentos que tornam a execução muito prática, aliado a técnicas de projeto que possibilitam a simplificação do trabalho dos operários das obras.

Esse conjunto evita ao máximo os erros humanos e permite que a construção seja feita tal qual foi projetada, sem esforços ou controles especiais.

O processo prático de protensão consta de:

1 - ancoragem de ferro fundido nodular barato, para uma só cordoalha.

2 - cunha externamente toda cônica (mais barata) bipartida (mais barata) que permite sua colocação com os dedos das mãos dentro do nicho da ancoragem.

3 - fôrma plástica para formar o nicho necessário ao acesso do macaco, de um só uso (barata) e de ângulo fixo (90°, 60° ou 45°), o que evita os erros na confecção das antigas fôrmas de madeira de ângulos variáveis.



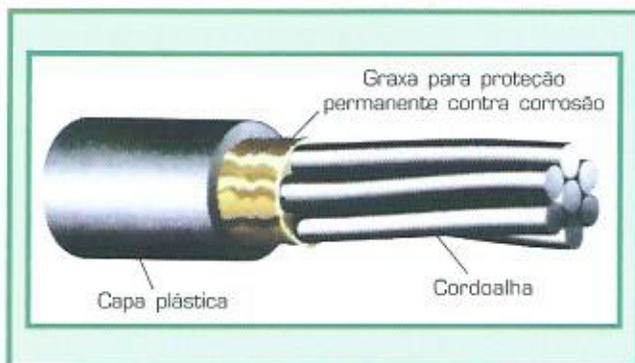
Ancoragem fundida, com tampa plástica, cunha bipartida e forma plástica para nicho a 90°

4 - macaco hidráulico de dois pistões paralelos, com rasgo central que segura a cordoalha entre os dois pistões. Essa concepção permite que se coloque o macaco em qualquer parte do comprimento da cordoalha. Para que seja feita a protensão.



Macaco de dois pistões e rasgo central

5 - cordoalha de aço envolta por camada de graxa protetora contra a corrosão e coberta por uma capa (bainha) plástica de polietileno de alta densidade extremamente resistente aos trabalhos nos canteiros de obras. Por ser embainhada individualmente, cada cordoalha pode ser transportada e distribuída sozinha, evitando-se a movimentação conjunta das quatro cordoalhas usuais no sistema de bainhas metálicas.



6 - cadeirinhas metálicas ou plásticas para suporte dos cabos nas cotas corretas, com medidas fixas que evitam erros comuns nos caranguejos tradicionais. São usadas também para os negativos sobre pilares.



Cadeiras plásticas para suporte e ajuste de cotas



Cadeiras metálicas para suporte e ajuste de cotas

O desenho do lançamento dos cabos nas lajes lisas é de uma feliz simplicidade: ao contrário do desenho antigo herdado da escola francesa que fazia um entrelaçamento dos cabos obrigando a uma complicada "costura" na obra, o sistema americano prevê que as cordoalhas sejam depositadas em camadas: a primeira sobre a fôrma numa direção; a segunda, ortogonal sobre a primeira camada; e, finalmente, a terceira camada de cabos é depositada sobre a segunda, sem "costuras" de cabos.



Distribuição de cabos em camadas, com cadeirinhas metálicas para suporte nas cotas

A operação de protensão também é extremamente simplificada: depois de feita com tinta spray (rápida e segura) a marcação na cordoalha para referência dos alongamentos, é colocado o macaco e é elevada a pressão hidráulica de zero à pressão máxima de projeto de uma só vez, pois:

1 - não há necessidade de retificação da cordoalha, visto que não há folga (espaço) entre a cordoalha e sua bainha plástica;

2 - que não há o risco de a cordoalha ficar presa por aderência ao concreto em caso de rasgo da bainha, devido à presença da graxa.

Em 30 segundos a operação está concluída e faz-se em seguida a leitura do alongamento resultante. Assim, evita-se a antiga operação de leitura de alongamentos em até 4 intervalos de pressão e mais a correção final.

O sistema também dispensa a operação de injeção de pasta de cimento necessária no sistema aderente. Em edifícios, a injeção além de ser mais uma operação de execução, provoca outros serviços principalmente de limpeza da obra.

Conhecidas as características acima, e sabendo da preferência total dos americanos pelos edifícios em lajes lisas sem vigas, pode-se relacionar muitas razões por que também o mercado brasileiro está adotando essa solução. ♦

## VANTAGENS DA LAJE PROTENDIDA MACIÇA LISA SEM VIGAS EM EDIFÍCIO

### FORMAS

- ♦ Menor desembolso inicial - aluguel - R\$ distribuído;
- ♦ Elimina cerca de 70% da confecção de fôrma na obra;
- ♦ Facilidade nas modificações de planta de uma laje para outra;
- ♦ Facilidade na obtenção de prumo dos pilares, que podem ser concretados antes da laje;
- ♦ Permite que a fôrma da laje seja montada após a desmoldagem dos pilares;
- ♦ Diminuição do número de oficiais carpinteiros (de 15 para 5, no exemplo orçado);
- ♦ Diminuição do custo (pouca mão de obra);
- ♦ Aumento da produtividade (2,38 m<sup>2</sup>/h contra 1,05 m<sup>2</sup>/h);
- ♦ Diminuição de prazo (de 164 para 131 dias estrutura de prédio de 15 andares, 400 m<sup>2</sup>/laje);
- ♦ Conseqüente diminuição do custo administrativo.

### ARMAÇÃO

- ♦ Diminuição da quantidade de aço na laje (4,9 t contra 7,8t);
- ♦ Rapidez de montagem (ausência de vigas);
- ♦ Mínimos erros de cobrimentos (laje e pilares mais espessos);
- ♦ Facilidade no transporte de rolos de cordoalhas cortadas (cabos);
- ♦ Facilidade no desenrolamento dos cabos;
- ♦ Diminuição de prazo.

### CONCRETO

- ♦ Facilidade na execução de piso nivelado (piso zero realmente zero, após a desforma);
- ♦ Difícilmente ocorrem bicheiras (lajes e pilares mais espessos);
- ♦ Rapidez na concretagem (não há vigas);
- ♦ Diminuição de prazo.

### ARQUITETURA

- ♦ Varandas mais econômicas (ausência de ralos e de forros);
- ♦ Maior espaço nas garagens e melhor circulação (menor número de pilares e maiores vãos);
- ♦ Redução do pé-direito das garagens (menor escavação);
- ♦ Facilidade na distribuição dos cômodos (ausência de vigas e maiores vãos entre os pilares);
- ♦ Facilidade na colocação de paredes de gesso acartonado;
- ♦ Custo menor dos corredores (ausência de forros);
- ♦ Ausência de contra-piso (menor deformação das lajes);
- ♦ Reduz o custo da fachada, devido à exatidão nos prumos.

# IBRACON discute reparo de fissuras em reservatórios não enterrados



Legenda: esq/dir. Arquiteto Paulo Amaro (Diretor Regional do IBRACON); Prof. Wanderley Guimarães Corrêa; Prof. José Luis Cardoso; Prof. Eduardo Thomaz; de pé, Eng. Vicente Garamboni.

A Regional IBRACON Rio de Janeiro promoveu, em novembro passado, um Seminário que discutiu as causas e conseqüências das fissuras em estruturas hidráulicas e que apontou soluções de reparo e intervenções, utilizando modernos produtos e sistemas de tratamento.

O Seminário foi realizado no Instituto Militar de Engenharia do Rio de Janeiro e contou com o patrocínio da MC-Bauchemie, por meio do Programa MC-Forum, programa desenvolvido pela empresa para disseminar suas tecnologias para a comunidade da construção civil. A Profa. Andréia Sarmento, integrante da Diretoria Regional do IBRACON, foi a organizadora do evento e o Prof. Wanderley Guimarães Corrêa, na época o Diretor Regional, atuou como coordenador técnico.

"O interesse dos profissionais com relação a um Seminário que abordasse as fissuras em reservatórios hidráulicos e sua reparação, tendo em vista os problemas verificados em inspeções feitas em reservatórios não enterrados, motivou a organização do evento", explicou o arquiteto Paulo Amaro, atual Diretor da Regional.

Participaram do Seminário 91 profissionais, que durante as cinco horas de realização puderam se informar e discutir sobre os seguintes tópicos:

- Conceitos e teoria de fissuras em reservatórios não enterrados. O Prof. Eduardo Thomaz do reconhecido IME (Instituto Militar de Engenharia), trouxe para o público exemplos de casos reais de fissuração;
- Projetos e normalização. O Prof. Wanderley Guimarães Corrêa e o engenheiro Vicente Garamboni abordaram o controle da fissuração em estruturas de reservatórios não enterrados;
- Processos executivos. O Eng. Alex Barros de Sá (Protende) falou das considerações sobre os aspectos construtivos para execução de silos protendidos com fôrmas de deslizantes;
- Práticas recomendadas, abordadas exemplarmente pelo reconhecido Prof. José Luis Cardoso;
- Sistemas de injeção: produtos e aplicações, abordado pelo Eng. Cláudio Ourives (MC-Bauchemie).

# Simpósio Internacional sobre Concretos Especiais 2006

O Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), a Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA) e o Instituto de Estudos dos Materiais da Construção (IEMAC) realizarão de 25 a 27 de maio de 2006, em Sobral-CE, o III Simpósio Internacional sobre Concretos Especiais (SINCO 2006).

O SINCO 2006 visa promover a divulgação dos recentes conhecimentos sobre a tecnologia de concretos caracterizados por apresentarem propriedades diferenciadas, discutindo sobre os materiais constituintes, suas características e propriedades, assim como, suas aplicações na construção civil.

"Os concretos especiais são todos os concretos que apresentam características diferenciadas, tais como o concreto de alta resistência, o concreto colorido, o concreto com fibras metálicas, o concreto fluido e outros", esclarece o Prof. Francisco Carvalho de Arruda Coelho, coordenador do evento e Diretor Regional do IBRACON.

Já estão confirmadas para o evento a presença dos seguintes pesquisadores:

- Prof. Paulo Helene (POLI / USP- Brasil);
- Prof. Geraldo Isaia (UFRGS - Brasil);
- Prof. Raul Zerbino (CONICET / UNLP / LEMIT- Argentina);
- Eng. Leonardo Garzon (LZA Technology - NY-USA);
- Prof. Protasio Ferreira e Castro (UFF - Brasil);
- Prof. Tibério Andrade (UFPE - Brasil)
- Prof. Angel Oshiro (UTN / FRC - Argentina);
- Prof. Enio Pazini (EEC / UFG - Brasil);
- Profª. Maria Positieri (UTN / FRC - Argentina);
- Eng. Carlos Arcila (Colômbia);

Além dessas conferências, estão previstos:

- Cursos:

*Aplicações de concreto não estrutural*

Prof. Protasio Ferreira e Castro (Brasil)

*Desenvolvimento de concreto auto-adensável*

Prof. Angel Oshiro (Argentina)

*Resistência com fibras*

Profª Anaelizabete Teixeira (Brasil)

• Apresentação de trabalhos de graduação e pós-graduação, enviados para a coordenação do evento até o dia 10 de abril de 2006.

Em sua terceira edição, o evento integrou o Nordeste brasileiro no circuito dos Simpósios Internacionais, tendo contado, em edições anteriores, com as presenças de Paulo Monteiro (Universidade de Berkeley, EUA); Jose Calavera Ruiz (Universidade de Madri, Espanha); Manuel Fernandez Canova (Universidade de Madri); dentre outros. A média histórica é de 300 participantes por evento.

As inscrições no evento poderão ser feitas a partir de 25 de março.

Mais informações: [www.sobral.org/sinco2006](http://www.sobral.org/sinco2006) ou [sinco\\_2006@yahoo.com.br](mailto:sinco_2006@yahoo.com.br) ♦



## SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CONCRETOS ESPECIAIS

# A Protensão nas Obras de Arte da Nova Pista Descendente da Rodovia dos Imigrantes

Roberto de Oliveira Alves  
Figueiredo Ferraz Consultoria e  
Engenharia de Projeto

### 1 - Histórico

Para uma melhor compreensão dos condicionantes considerados no desenvolvimento do projeto da nova pista descendente da Rodovia dos Imigrantes, se faz necessário analisar o projeto e a implantação da pista ascendente, no início da década de 60.

Naquela oportunidade a DERSA - Desenvolvimento Rodoviário S.A., recentemente criada, colocou em licitação internacional o projeto da nova ligação entre o planalto de Piratininga e a Baixada Santista.

O projeto era constituído por três pistas: descendente, ascendente e reversível e, nos processos de licitação, era condição fixada que o projeto deveria se desenvolver por uma faixa limitada e que correspondia aos estudos de viabilidade realizados pela própria DERSA e apresentado como um condicionante contratual.

A FIGUEIREDO FERRAZ associada à Alpina Spa, de Milão, foi o consórcio vencedor e incumbido de desenvolver os projetos dentro dos padrões estabelecidos.

Por motivos econômicos e financeiros, a DERSA optou por implantar apenas a pista ascendente e o Consórcio recebeu a orientação de desenvolver o seu detalhamento, com a orientação

de que a ligação permanecesse dentro da faixa inicialmente estabelecida.

Para gerar condições de implantação das obras, o Consórcio projetou a atual estrada de serviço que, resguardando as condições geológicas, geotécnicas e ambientais (então vigentes), permitiu o trânsito de materiais, de equipamentos e de pessoal necessários para o desenvolvimento das obras, constituindo uma via de apoio operacional após a inauguração da pista ascendente, e que foi de extrema importância na execução das novas obras da pista descendente, inaugurada em 2002.



Vista aérea da pista ascendente e da pista descendente ( VD-07 ) em execução

#### 4.1 - Viadutos executados em balanços sucessivos:

Foram projetados 5 viadutos em balanços sucessivos para o trecho Serra da Pista Descendente com as seguintes características técnicas:

##### Tabuleiro

Superestrutura em seção mono celular, largura de 15,30m, executada pelo método dos balanços sucessivos moldados no local, balanceada em relação aos pilares, em duplo disparo (execução simétrica das aduelas em relação aos pilares).



Trecho de balanço sucessivo em execução, do viaduto VD-07

A continuidade posterior, alteração do sistema estrutural inicial isostático dos balanços para a configuração final hiperestática ou contínua, é conferida, após a concretagem do fecho do vão central, pela protensão dos cabos positivos inferiores, cujas bainhas foram previamente locadas durante a execução dos balanços.



Seção típica de uma aduela do viaduto VD-07

Resumo das características geométricas:

Viaduto	Extensão Total	Vão Máximo
VD-01	263,0	78,0
VD-02	191,0	81,0
VD-03	602,0	80,0
VD-04	120,0	59,0
VD-07	1066,0	90,0

#### 4.2 - Viadutos executados por deslocamentos progressivos:

Foram projetados 2 viadutos para o trecho Baixada da Pista Descendente apresentando as seguintes características técnicas:

##### Tabuleiro

Superestrutura protendida, em seção mono celular, vãos de 50 m e largura de 12,30m, executada em módulos de 25 m, pelo método dos deslocamentos progressivos a partir de um canteiro situado na região anterior do encontro de montante.

A execução é feita por deslocamentos de segmentos de tabuleiro de comprimento igual à metade do vão típico, com solidarização estrutural e estática garantida pela continuidade das armaduras convencionais e de protensão.



Detalhes dos nichos internos de protensão do viaduto VD-08

O deslocamento de toda a estrutura é feito sobre apoios deslizantes provisórios posicionados sobre os pilares, com dispositivos de freio contínuo em face das inclinações de greide (perfil longitudinal da rodovia) serem bem superiores aos valores limites do atrito entre as superfícies.

Resumo das características geométricas:

Viaduto	Extensão Total	Vão Máximo
VD-08	473,0	50,0
VD-10	523,0	50,0

Vista da forma para execução do viaduto empurrado VD-08



### 4.3 - Viadutos com tabuleiro em grelha pré-moldada

Foram projetados 5 viadutos utilizando-se esta tipologia estrutural, parcial ou integralmente, para os trechos Serra e Baixada da Pista Descendente da Rodovia dos Imigrantes, apresentando as seguintes características técnicas:

#### Tabuleiro

Superestrutura em grelha, composta por 5 ou 6 vigas pré-moldadas protendidas, solidarizadas posteriormente à laje de concreto quando de sua execução, através das armaduras projetadas nas vigas e nas lajes. É prevista laje contínua para cada 3 vãos do viaduto.

Resumo das características geométricas:

Viaduto	Extensão Total	Vão Máximo
VD-04	90,0	30,0
VD-05	74,0	28,0
VD-07	180,0	36,0
VD-08	180,0	36,0
VD-09	370,0	36,0

### 5 - Os Grandes Números da Protensão na Imigrantes

Detalhe de um tabuleiro em grelha do viaduto VD-09



Apresentamos a seguir os números relativos à protensão, resumo para todas as pontes e viadutos nos trechos Serra e Baixada da nova Pista Descendente da Rodovia dos Imigrantes.

Item	Unidade	Quantidades
Aço CP 190-RB	Kg	1.660.000
Bainhas Galvanizadas	ml	85.600
Ancoragens	unidade	4.100

Todos os serviços de protensão, dentre outros como o fornecimento de aparelhos de apoio e juntas de dilatação, foram executados pela PROTENDE Sistemas e Construções Ltda. ♦



**BRASIL**  
**atex**  
A FÔRMA DA LAJE NERVURADA

Guarulhos - SP  
Rua Rosa Mafei,  
Tel.: (11) 6438-6  
Minas Gerais  
Tel: (31) 3681 - 36  
E-mail: atex@atex.  
Site: www.atex.com





# Revisar é Preciso

## ABECE lança processo inédito para rever NBR 6118:2003

Reforçando seu compromisso de estimular o desenvolvimento e o aperfeiçoamento da engenharia nacional, a ABECE (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural) acaba de lançar um processo inédito no país para incitar a revisão da principal norma que define os critérios gerais que regem o projeto das estruturas de concreto simples, armado e protendido (sejam elas de edifícios, pontes, obras hidráulicas, portos ou aeroportos, etc.), a NBR 6118:2003.

"A proposta da entidade é coletar, classificar e organizar sugestões para revisão desta Norma com base na experiência já acumulada nesses quase dois anos de seu uso obrigatório", explica o eng. José Roberto Braguim, vice-presidente da ABECE.

Historicamente conhecida como NB-1, a NBR 6118 - Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado, norma amplamente utilizada na construção civil, passou por quatro revisões (em 1950, 1960, 1978 e 2003), sendo que a última entrou em vigor em março de 2004.

Braguim enfatiza que em diversos países, as normas são revistas freqüentemente, a cada dois ou três anos, enquanto no Brasil esse processo acontece há cada 10 ou 20 anos. "Mesmo considerando as importantes e imprescindíveis alterações que foram introduzidas na última versão, deixando a NBR 6118 mais adequada à atual realidade tecnológica da construção civil brasileira, é crescente a quantidade de comentários a respeito da necessidade de rever alguns pontos polêmicos", comenta.

### Estimulando a participação

A intenção da ABECE é ser um agente estimulador da participação dos profissionais interessados no processo de revisão da Norma. Assim, é de se esperar que a próxima revisão da NB-1 se dê com base numa grande quantidade de considerações e experiências coletadas diretamente daqueles que a utilizam no dia-a-dia do projeto estrutural, assim como da indispensável contribuição do conhecimento acadêmico que vem sendo gerado nas universidades.

As sugestões serão coletadas no meio técnico e encaminhadas à Comissão de Estudos de Estrutura de Concreto Simples, Armado e Protendido do CB-02 – Comitê Brasileiro de Construção Civil da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, instância responsável por este trabalho.

Segundo o vice-presidente, nunca houve um fluxo de informações organizadas para revisão de uma norma, uma vez que os processos de adequação de normas, apesar de públicos, se dão nos ambientes das comissões técnicas, que muitas vezes não têm recursos suficientes para entender as consultas ao mercado como um todo.

Para concretizar a iniciativa, a ABECE disponibilizou uma ficha na Internet (através de seu site – [www.abece.com.br](http://www.abece.com.br)) para que os interessados registrem suas sugestões. Durante aproximadamente seis meses (ou até outubro), a Associação receberá as contribuições para a elaboração de um resumo que será entregue à Comissão da Norma solicitando que tal revisão seja feita até 2008.

"Não há precedentes na coleta organizada de sugestões para revisar uma norma tão importante como a NBR 6118. Agora é mãos à obra e contar com o apoio de todos que puderem dar sua contribuição ao desenvolvimento tecnológico nacional", enfatiza Braguim. ♦

# Por que Protender Pisos Industriais?

Sergio Rodrigues Coelho  
Biden Tecnologia em Processos Construtivos  
Marcelo Quinta  
Bekaert - GTPD BELGO - GRUPO ARCELOR

Devido à redução significativa do índice de juntas, o piso protendido tem sido a escolha predominante nos grandes centros de distribuição de diversos segmentos da Indústria Brasileira.



Fig. 1: Execução do centro de distribuição (Casas Bahia - Jundiaí - SP)

### Histórico e Evolução do Mercado de Pisos Industriais

A partir de 1995, é notório o avanço, no Brasil, do mercado de pisos industriais, tanto no dimensionamento como também nas técnicas de execução. Não seria exagero considerarmos que, atualmente, temos a utilização consolidada de diversas tecnologias voltadas para execução de pisos industriais: desde o concreto simples, o estruturalmente armado, o reforçado com fibras de aço e agora o piso protendido, diferentemente do que acontece em muitos outros países que adotam predominantemente uma ou outra tecnologia construtiva.

Essa evolução dos pisos de concreto, desde o concreto simples até o piso de concreto protendido,

teve sua razão na exigência crescente dos clientes de terem como produto final um piso de alto desempenho.

A mudança dos sistemas de acondicionamento, devido ao aumento da altura de armazenagem, exigiu o desenvolvimento de modernas empilhadeiras (fig.2) que passaram a operar com rodas maciças e não mais pneumáticas. Costumamos dizer que os engenheiros mecânicos criaram equipamentos muito eficientes, porém "destruidores de juntas". Como resultado, os novos projetos começaram a se preocupar em adotar um baixo índice de juntas e um alto índice de planicidade.

Essas exigências ajudaram muito na pesquisa e no desenvolvimento de novas tecnologias. Atualmente, todo piso industrial requer acabamento mecânico na superfície, concretos de boa qualidade, aditivos para minimizar o efeito da retração, aspersão de agregados minerais para aumento da resistência à abrasão, medição dos níveis de planicidade, baixos índices de juntas e maior vida útil, buscando-se, assim, reduzir o custo de manutenção.

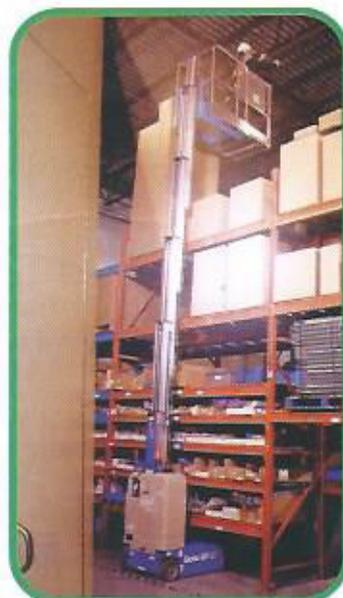


Fig. 2: Empilhadeira de roda rígida em operação

No Brasil, a primeira inovação que caminhou neste sentido veio através do sistema chamado *Jointless floor*, recurso largamente utilizado na Europa. Este sistema consiste na execução de placas de até 50m, sem juntas, utilizando a tecnologia de fibras de aço ou telas soldadas. Com a introdução do protendido associado ao sistema *Jointless floor*, conseguiram-se pisos industriais com baixíssimos índices de juntas.

A Protensão com cordoalhas engraxadas permitiu a execução de placas muito maiores. Citamos como exemplo obras com placas de dimensões de até 120m x 120m, com excelentes resultados no que diz respeito à integridade das juntas transversais e longitudinais. Pode-se, também, observar o eficiente controle de fissuração decorrente do sistema de compressão do concreto, o que, por sua vez, contribui para o aumento da vida útil do pavimento e conseqüente diminuição dos custos de manutenção.

## Características do Piso Protendido

### Materiais Utilizados

No quesito Aços para Protensão, o advento da cordoalha engraxada e plastificada simplificou e facilitou muito o uso da protensão nesse tipo de obra, permitindo o uso de equipamentos portáteis e de fácil manuseio.

A simplicidade das ancoragens utilizadas proporciona uma redução nos custos do sistema. Os

reforços (nervuras) da placa de ancoragem permitem a utilização de uma peça leve e pequena, em ferro fundido. Em seu orifício tronco cônico aloja-se a cunha responsável pelo travamento da cordoalha (fig 3).

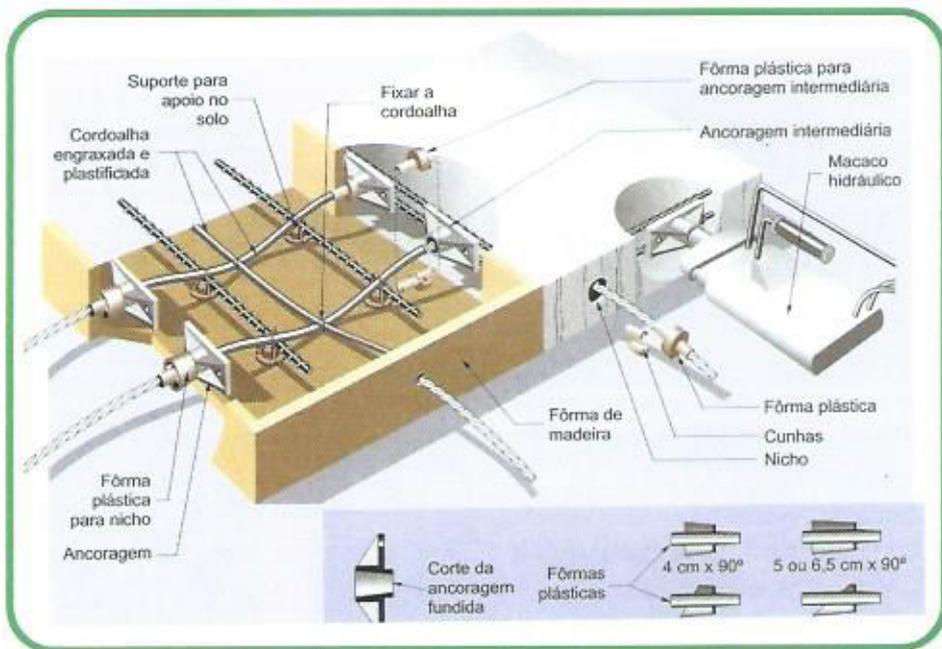


Fig. 4: Esquema de montagem das ancoragens

Para impedir a entrada de concreto no orifício tronco cônico da placa de ancoragem, utiliza-se uma peça plástica que formará o nicho por onde será executada a protensão e que estabelece o correto afastamento entre a ancoragem e a fôrma (fig 3).

No lançamento dos cabos, alguns cuidados precisam ser tomados, tais como: evitar danos às bainhas, respeitar o posicionamento dos cabos e não permitir espaços entre as ancoragens e as fôrmas, protegendo o sistema contra a entrada de concreto (Fig 4).

Os equipamentos utilizados são leves e podem ser movimentados facilmente, possibilitando uma alta produtividade em campo (fig 5).

### Detalhes Construtivos

A definição das larguras e comprimentos das placas é feita a partir da escolha do equipamento de espalhamento e adensamento do concreto, podendo



Fig. 3: Detalhe dos acessórios: cunha, placa de ancoragem e nicho plástico



Fig. 5: Equipamentos usados para protensão

ser executada em faixas retangulares, utilizando as régua vibratórias ou placas quadradas empregando a *laser screed* (equipamento para nivelamento do concreto na execução de pisos de alto desempenho).



Fig. 6: Detalhe construtivo das cordoalhas posicionadas na pista

Com relação à especificação do concreto, deve-se atentar para que sua resistência atenda aos requisitos da protensão inicial, que deverá ser feita de 10 a 20 horas após o lançamento. A protensão inicial prevê a aplicação de 20% da carga final.



Fig. 7: Detalhe montagem das cordoalhas

O sistema protendido dispensa a restrição de 1,00 x 1,50 na relação largura x comprimento das placas de concreto, permitindo a construção de faixas com equipamento convencional tipo régua vibratória. (Ex. 8m de largura x 80m de comprimento).



Fig. 8 e 9: Vista geral durante a execução do piso

## Vantagens do Protendido

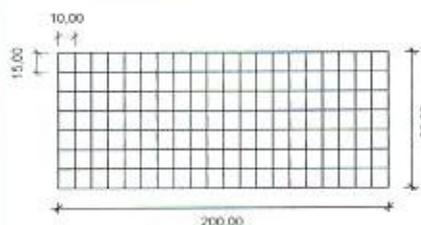
### Desempenho

- ◆ Redução do índice de juntas.

Pode-se afirmar que 90% do custo de manutenção de pisos industriais concentra-se na recuperação das juntas. Este item tem sido determinante na escolha do sistema de construção a ser adotado, principalmente nos depósitos de alto ciclo de movimentação de carga.

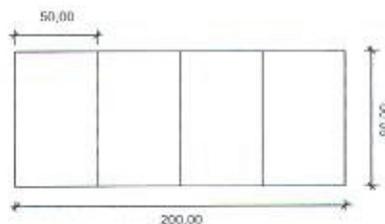
#### Juntas Tratadas

##### Piso Armado



2710 ml de juntas  
0,15 ml / m<sup>2</sup>

##### Piso Protendido



270 ml de juntas  
0,015 ml / m<sup>2</sup>

Inúmerass vantagens são decorrentes desse baixo índice de juntas, tais como:

- ◆ Baixo custo de tratamento e manutenção.
- ◆ Maior velocidade de tráfego das empilhadeiras.
- ◆ Redução do desgaste das empilhadeiras.
- ◆ Menor interferência na operação durante a manutenção.
- ◆ Menor risco de contaminação na Indústria Farmacêutica e Alimentícia.
- ◆ Maior vida útil do piso.
- ◆ Redução, a quase zero, das paradas de operação da Empresa para efetuar-se a manutenção de juntas.

## Executivas

- ◆ Utilização de equipamentos convencionais para execução do Piso. Ex. Régua vibratória.
- ◆ Serviços de protensão simples e rápidos, não interferindo na seqüência executiva do piso.

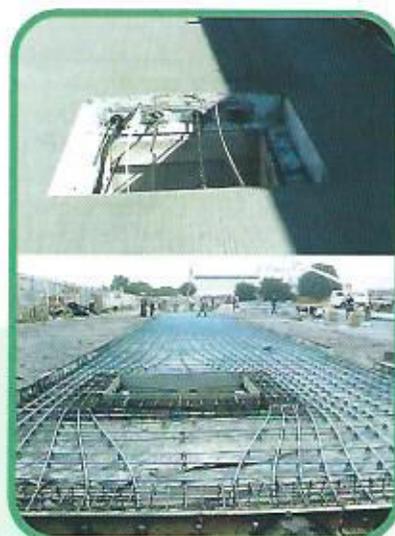


Fig. 10 e 11: Vista geral do posicionamento das cordoalhas e etapa de concretagem utilizando régua vibratória



◆ Para a execução destes serviços, necessita-se apenas uma equipe de armadores e a orientação de uma empresa especializada em protensão.

Fig. 12 e 13: Aberturas no piso podem ser feitas interrompendo as cordoalhas ou contornando a interferência



## Técnicas

- ◆ Dispensa a recomendação da *ASHTO*, *PCA* e *Corps of Engineers design method* na relação largura x comprimento que indicam ser de, no máximo, 1,0 x 1,5.
- ◆ Eficiente controle de fissuração.
- ◆ Alta capacidade de carga com baixas espessuras de concreto.

### Tendências do mercado: Customização x Otimização

Na escolha do sistema construtivo a ser adotado deve-se atentar para as reais necessidades do cliente.

O projetista fica responsável pela avaliação custo/benefício das soluções, devendo também apresentar ao cliente os fatores técnicos que determinaram a escolha de um ou outro sistema.

Neste contexto, a customização permite não só uma adequação à melhor solução financeira como também atendimento às exigências técnicas impostas pelo tipo de operação. Por outro lado, a otimização visa apenas à redução de custos imediatos, o que em muito breve podem resultar em patologias, que por sua vez ocasionem também manutenção precoce do piso industrial. O custo a ser considerado deve levar em conta o custo de manutenção e o custo das horas paradas de operação do depósito/fábrica. ◆

## Referências

Centro de Distribuição das Lojas Casas Bahia em Jundiaí - SP

Consumo de cordoalhas Plásticas e Engraxadas : 125 ton;

Área : 36.308 m<sup>2</sup>;

Dimensões das placas: de 90m x 90m;

Espessura das Placas: 14 cm;

Execução da protensão: Bilden Tecnologia em Processos Construtivos

Condomínio de Galpões Industriais VM5 em Contagem - MG

Consumo de cordoalhas Plásticas e Engraxadas : 35 ton;

Área : 12.500 m<sup>2</sup>;

Dimensões das placas: de 90m x 90m;

Espessura das Placas: 14 cm;

Execução da protensão: Bilden Tecnologia em Processos Construtivos

EMBRAER São José dos Campos - SP

Consumo de cordoalhas Plásticas e Engraxadas : 85 ton;

Área : 11.500 m<sup>2</sup>;

Dimensões das placas: 30m x 135m e 70m x 52m;

Espessura das Placas: 20 a 23 cm;

Execução da protensão: Bilden Tecnologia em Processos Construtivos

# Possibilidades de Incorporação de Novas Tecnologias em Anel de Concreto Pré-Fabricado para Túneis com Tuneladora

Ricardo Cavallari D'Alkmin Telles  
Antonio Domingues de Figueiredo  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

## Resumo

O presente trabalho apresenta uma análise da possibilidade de incorporação de inovações tecnológicas na produção de anéis de concreto para revestimento de túnel em Tuneladora (*Shield*). O uso dessas tecnologias tem o objetivo de conferir ao anel de concreto a capacidade de resistir a algumas situações que normalmente não são previstas em projeto, dado o caráter dinâmico da execução dos túneis com esta tecnologia. Dentre estes fatores de difícil previsão estão os esforços e impactos provenientes do contato entre anéis e sapatas da Tuneladora e anéis, que dependem muito da condição de pressão imposta pelo maciço à cabeça de escavação. Além disso, atualmente é inadmissível ignorar os riscos de incêndio em túneis e, por esta razão, o concreto deve resistir ao fogo com mínimo risco de lascamento explosivo. As principais alternativas aqui avaliadas são o uso de fibras de aço, das fibras de polipropileno e de adições pozolânicas (metacaulim e sílica ativa). Um pequeno estudo experimental, desenvolvido especificamente para anéis de concreto incorporando estas novas tecnologias, também é aqui apresentado.

## 1 - Introdução

Até meados dos anos 90, trabalhava-se na execução de anéis de concreto para túneis construídos com tuneladora (*Shield*) com características diferentes das atuais. Como exemplo, no projeto básico da Linha 4 do Metrô de São Paulo, previa-se a execução do

anel com armadura convencional ( $85 \text{ kg/m}^3$ ), espessura de 30 cm e a resistência característica do concreto de 45 MPa. No entanto, o uso de novas tecnologias, que permitem conferir ao produto final uma série melhorias para a qualidade final, já estão sendo aplicadas em diversas obras pelo mundo, destacando-se a obra do CTRL (Channel Tunnel Rail Link), em Londres, onde a armadura convencional foi totalmente substituída por fibras de aço. Nesta obra, também foram utilizadas fibras de polipropileno e adições pozolânicas de modo a se obter os seguintes benefícios:

- ◆ Aumento da resistência ao impacto dos segmentos de concreto, essencial no caso de esforços exercidos pela Tuneladora sobre o anel de concreto, evitando-se situações de lascamento e fissuração do concreto originados por esforços não previstos;
- ◆ Melhoria nas características de qualidade da matriz de concreto, destacando-se a redução da permeabilidade e aumento da durabilidade;
- ◆ Redução do risco de corrosão no interior da matriz de concreto, em função da ausência de armadura contínua e da redução da entrada de agentes agressivos;
- ◆ Matriz de concreto com capacidade de resistência ao fogo sem lascamento explosivo.

### 1.1 - Uso de Fibras de Aço em Substituição à Armadura

A armadura de aço tradicionalmente utilizada em anéis de concreto sempre teve uma limitação

técnica: a incapacidade de evitar o aparecimento de lascas e fissuras no concreto, principalmente as de borda, decorrentes de esforços aplicados pelos pistões de avanço da tuneladora. A combinação do recobrimento mínimo exigido (como instrumento de garantia da qualidade) com a aplicação de esforços de tração não ortogonais à face do anel de concreto é a principal causa do surgimento de lascamentos. Mesmo desconsiderando-se o desconforto estético, os lascamentos e fissuras podem tornar-se pontos de infiltração de água. Portanto, exigem reparos no interior do túnel após a passagem da tuneladora implicando em serviços e custos que poderiam ser evitados. Considerando-se que, no revestimento do túnel, os esforços de tração durante sua vida útil têm valores muito baixos, o uso de armadura convencional mostra-se útil apenas para suportar os esforços de produção e aplicação do próprio anel, podendo-se considerá-la dispensável para a estrutura em uso.

do componente é fundamental, bem como a determinação da tenacidade do compósito que é influenciada pelo fator de forma da fibra (relação entre comprimento e diâmetro da fibra), ancoragem das fibras, resistência à tração das fibras e teor de fibras. Assim, o traço de concreto a ser escolhido, incluindo-se tipo, forma e teor de fibras de aço a ser utilizado, depende de programa de ensaios laboratoriais, em função das interações existentes entre os diversos componentes do concreto a ser produzido.

## 1.2 - Inclusão de Fibras de Polipropileno

Os riscos com incêndios em túneis e sua ação no concreto é uma das principais preocupações do meio técnico atualmente, em função de acidentes importantes ocorridos em túneis na Europa (FIGUEIREDO; TANESI e NINCE, 2002). Uma das

conseqüências do incêndio é o fenômeno de "spalling" do concreto, que pode ser traduzido pela manifestação de fissuras, lascamentos e significativa perda de material. NINCE et al. (2003) descreve detalhadamente como o processo de "spalling" ocorre. Basicamente, a partir de 100 °C a água combinada no C-S-H começa a evaporar, gerando pressão nos poros e criando um gradiente de pressão. O "spalling" tende a ocorrer em situações onde a taxa de aquecimento e/ou nível de saturação forem suficientemente

altos e a permeabilidade baixa. Em concretos de alto desempenho esse fenômeno é mais sensível, como se pode imaginar, face à baixa permeabilidade do concreto. O uso das fibras de polipropileno é bastante eficiente no combate a esse fenômeno, pois fundem-se com o aumento de temperatura ocasionado pelo incêndio, gerando vazios que criam canais preferenciais para alívio da pressão interna de vapor (NINCE, et alii, 2003; KITCHEN, 2001). Exemplos recentes do uso dessa tecnologia são o Rodoanel de São Paulo, onde se utilizou de fibras de polipropileno em concreto projetado e o Channel Tunnel Rail Link que a empregou em anéis de concreto para tuneladora.

A adequação do uso adequado dessa tecnologia também dependerá de um programa de ensaios de laboratório, visto que a dimensão das fibras e seu o teor guardam relação com a matriz de concreto utilizada, e suas respectivas porosidade e permeabilidade. A experiência internacional, conforme executado no CTRL (SHUTTLEWORTH, 2001) recomenda consumo mínimo de 1 kg/m<sup>3</sup>, mas em túneis de grande responsabilidade este teor deve estar

Tabela 1: Concretos utilizados neste plano experimental.

Material	Concreto			
	A30	A35	B35	B40
Cimento	CP V ARI - Fornecedor A		CP V ARI - Fornecedor B	
Aditivo superplastificante	Fornecedor C		Fornecedor D	
Adições	Metacaulim - Fornecedor E			
	Sílica ativa - Fornecedor F			
Areia 1	Areia rosa			
Areia 2	Areia artificial oriunda de britagem de rocha			
Pedrisco	Granítico			
Brita 1	Granítica			
Fibra de aço	Fornecedor G		Fornecedor H	
Teor de fibra de aço	30kg/m <sup>3</sup>	35kg/m <sup>3</sup>	35kg/m <sup>3</sup>	40kg/m <sup>3</sup>

O trabalho apresentado por VANDEWALLE (2002) mostra o desempenho superior do segmento de concreto com fibras em relação àquele com armadura convencional, nas três situações de esforço (desmoldagem, estocagem e avanço dos pistões) a que o segmento de concreto é submetido. Por esta razão, passou-se a utilizar fibras de aço como parte reforço da matriz de concreto dos segmentos. Em alguns empreendimentos, tal como o apresentado por PINTO JR (2001) utilizou dessa tecnologia há poucos anos atrás. Recentemente, a obra do Channel Tunnel Rail Link vem utilizando anéis de concreto com fibras de aço em túnel de grande diâmetro com absoluto sucesso.

As fibras de aço distribuem-se por todo o volume de concreto do anel e, principalmente, reforçam os espaços periféricos onde ocorrem concentrações de tensões em função das aplicações dos esforços dos pistões da tuneladora. Para escolha do tipo e dimensões da fibra, bem como para a sua dosagem no concreto, são necessários estudos de laboratório, onde a interação fibra-matriz deve ser analisada (CHAMA NETO e FIGUEIREDO, 2003). Segundo estes autores, a avaliação de desempenho

entre 2 e 3 kg/m<sup>3</sup>, dependendo dos resultados experimentais.

### 1.3 - Inclusão de Adições Pozolânicas: Metacaulim e/ou Silica Ativa

No caso de anéis de concreto para túnel com tuneladora, o uso de concreto de alta resistência é muito importante, considerando-se que o anel é montado com elevados esforços de compressão provocados pelos pistões do Shield. Exige-se também que a estrutura tenha baixa permeabilidade, pois a estrutura está enterrada sob a ação direta do lençol freático, submetida a elevadas pressões de água (aproximadamente 3 bar, em alguns casos). O uso de sílica ativa para produção de concreto de alta resistência já é consagrado no Brasil. Mais recentemente verifica-se uma excelente possibilidade para produção deste concreto com o uso de metacaulim. Segundo RABELLO, GALLO e HOLANDA (2003) o metacaulim é constituído por compostos à base de sílica e alumina na fase amorfa, proporcionando alta reatividade com o hidróxido de cálcio presente no concreto. O hidróxido de cálcio, fraco e solúvel, é responsável pela queda de resistência mecânica e durabilidade do concreto a médio e longo prazo. Ao reagir com o hidróxido de cálcio o metacaulim torna o concreto mais durável e resistente. Além do efeito químico, o metacaulim tem efeito físico na redução dos vazios do concreto, ao se interpor entre os grãos de cimento, devido à sua elevada finura. A constatação desses efeitos foi relatada por LACERDA e HELENE (2003), tanto no que tange à redução da permeabilidade como no aspecto relativo ao aumento da resistência à compressão. A faixa de utilização do metacaulim é apresentada por RABELLO (2003) como sendo entre 5% e 15% em relação ao peso de cimento e estudo realizado por LACERDA e HELENE (2003) com 8% mostra claramente a melhoria em todos os ensaios relativos à durabilidade em função dessa adição. Em relação à resistência à compressão, LACERDA e HELENE (2003) concluem que, nos experimentos efetuados, os resultados de resistência à compressão, resistência à tração e de módulo de elasticidade, superam sempre e significativamente os obtidos do concreto de referência, sem adições.

Em visitas a obras de túnel em Shield pelo mundo constatou-se a utilização de outros tipos de adições pozolânicas com efeitos similares. Por exemplo, em fábrica de anéis de concreto visitada no

Japão, verificou-se a utilização de cinzas de casca de arroz e em visita realizada na obra do Channel Tunnel Rail Link constatou-se o uso de cinza volante, ambos com a mesma finalidade. A constatação dessas e de outras experiências fazem crer que o caminho adotado está correto no sentido de produzir um anel de concreto de qualidade bastante superior em relação ao desempenho inicialmente especificado. Assim, como nos casos de adição de fibras de aço e fibras de polipropileno, o desempenho final da matriz de concreto depende da relação entre os diversos componentes. Logo, para a utilização do anel de concreto em questão, faz-se necessária a execução de programa de ensaios específicos, com o objetivo de determinar-se a dosagem final de adição pozolânica a ser utilizada.

Tabela 2. Traços utilizados neste estudo.

Material	Traço unitário				Consumos estimados (kg/m <sup>3</sup> )			
	A30	A35	B35	B40	A30	A35	B35	B40
Concreto	A30	A35	B35	B40	A30	A35	B35	B40
Cimento	1	1	1	1	351,66	351,66	351,66	351,66
Metacaulim	0,078	0,078	0,078	0,078	27,43	27,43	27,43	27,43
Silica ativa	0,033	0,033	0,033	0,033	11,60	11,60	11,60	11,60
Aditivo	0,0089	0,0089	0,0067	0,0067	3,13	3,13	2,34	2,34
Areia rosa	0,827	0,827	0,827	0,827	290,82	290,82	290,82	290,82
Areia artificial	1,24	1,24	1,24	1,24	436,06	436,06	436,06	436,06
Pedrisco	0,913	0,913	0,913	0,913	321,07	321,07	321,07	321,07
Brita 1	2,131	2,131	2,131	2,131	749,39	749,39	749,39	749,39
Água	0,5	0,5	0,5	0,5	175,83	175,83	175,83	175,83
Fibra de aço	0,0853	0,1	0,1	0,1137	30	35,17	35,17	40
Fibra de polipropileno	0,0028	0,0028	0,0028	0,0028	0,98	0,98	0,98	0,98

Em pesquisas recentes (BINDIGANAVILE e BANTHIA, 2001), grandes ganhos vêm sendo obtidos ao compor-se duas adições pozolânicas associadas. No caso do concreto projetado, por exemplo, a utilização combinada de metacaulim com sílica ativa deverá ser bastante eficiente. Isto ocorre devido ao fato dos dois produtos terem granulometria diferente e complementar. A sílica ativa é mais fina que o metacaulim e, em função disso, preenche os vazios dos grãos desse produto. O metacaulim, por sua vez, apresenta granulometria ideal para preenchimento dos vazios entre os grãos de cimento. Em resumo, a utilização combinada de cimento, metacaulim e sílica ativa permite a obtenção de uma curva granulométrica de produtos finos ideal e, claro, uma garantia de continuidade das reações de hidratação. O produto final pode ser então significativamente superior com esta combinação de produtos.

### 1.4 - A Combinação de Novas Tecnologias

A combinação dessas diversas tecnologias gera uma infinidade de possibilidades para o anel de

concreto. O comportamento do concreto com todos esses produtos associados e sua otimização só é possível com a realização de um extenso programa de ensaios de laboratório, onde se inclua a avaliação de peças em escala natural. Por outro lado, experiências de sucesso similares, como a obra do Channel Tunnel Rail Link, dão maior segurança para sua aplicação. Um dos aspectos importantes a serem observados é o comportamento conjunto do concreto com fibras de aço e polipropileno usadas em conjunto, como foi objeto de estudo do trabalho realizado por LIMA e SILVA FILHO (2003). Esse estudo mostrou algumas das possíveis variações de comportamento em funções de eventuais combinações de teores de fibras.

No entanto, um aspecto fundamental, é que o concreto atenda às exigências de desempenho previstas para o mesmo do ponto de vista mecânico. Assim, apresenta-se a seguir um estudo experimental com concretos constituídos com diferentes matérias primas disponíveis no mercado brasileiro com vistas ao atendimento destas exigências de ensaios básicos. Este estudo é preliminar ao estudo de avaliação de desempenho que deverá ser feito futuramente em peças de grandes dimensões, cujo objetivo é a verificação das premissas de projeto e homologação do concreto (KING, 2003).

## 2 - Estudo de Traco Incorporando Novas Tecnologias

Foram realizados na Escola Politécnica da USP os chamados ensaios padrão, destinados à caracterização do material de modo a verificar sua adequação aos requisitos de desempenho especificados para o projeto da obra da Linha 4 do Metrô de São Paulo. A seguir são destacados alguns dos dados e conclusões mais significativos do estudo, bem como os procedimentos adotados.

### 2.1 - Metodologia Adotada

Como análise preliminar desta fase do projeto, foram determinados os teores críticos dos aditivos superplastificantes em relação ao conjunto de materiais aglomerantes formado pelos diferentes cimentos em conjunto com o metacaulim e a sílica ativa, segundo a metodologia adotada por MONTE e FIGUEIREDO (2003). Optou-se por fixar o consumo de adições em 7% para o metacaulim e 3% para a sílica ativa em substituição à massa de cimento. Além do ganho de desempenho global esperado para a utilização simultânea das duas adições, espera-se tornar o traço de concreto mais flexível, principalmente mantendo-se opções de alterações quanto ao fornecimento de adições pozolânicas para

a obra, podendo-se optar com maior facilidade pela utilização de apenas uma das adições caso a outra venha a apresentar alguma dificuldade de fornecimento. Nesta avaliação foram estudados os materiais constantes da Tabela 1. Com estes materiais foram produzidos dois concretos com o mesmo traço, variando-se apenas o teor de fibra de aço em cada um deles. O teor de fibra de polipropileno foi mantido constante ( $1\text{kg/m}^3$ ) tendo sido adotado o teor mínimo recomendado para esta aplicação. Os concretos são apresentados como A30, A35, B35 e B40, conforme o apresentado na Tabela 1. As matrizes de concreto foram mantidas constantes e o ajuste do traço deverá ser efetuado no futuro quando da implementação da produção dos anéis. Os traços utilizados neste estudo se encontram apresentados na Tabela 2.

Para a análise do CRFA (Concreto Reforçado com Fibras de Aço) foram utilizados os seguintes ensaios: resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, tração na flexão com deformação controlada para determinação da resistência à tração na flexão e tenacidade segundo a norma JSCE-SF4. No caso do ensaio de compressão axial seguiu-se o recomendado pela norma brasileira NBR 5739. No caso do ensaio de compressão diametral para determinação indireta da resistência à tração seguiu-se a norma brasileira NBR 7222.

### 2.2 - Resultados

#### (a) Evolução de resistência à compressão

Na Tabela 3 encontram-se apresentados os resultados individuais obtidos para a resistência à compressão.

Considerou-se como o valor característico exigido para o concreto quanto à resistência à compressão é de 45 MPa, que é um padrão comumente utilizado e também é aquele especificado em projeto básico do Metrô de São Paulo.

Tabela 3: Resultados obtidos para a resistência à compressão.

Idade (dias)	Resistência à compressão (MPa)	
	A35	B35
16 horas	23,5	15,9
	24,4	16
1	32,6	23,5
	35,9	23,9
3	49,8	45,8
	56,5	42,1
7	-	38,6
	63,5	55,1
14	60	56,7
	60,8	61,7
28	65,6	53,2
	68,1	60,5
28	66,4	69,8
	74	72
	72,7	-

tenacidade da ASTM e o fator de tenacidade medido segundo a JSCE-SF4. Assim, como a resistência característica à tração na flexão exigida é de 3,1MPa, isto corresponde a uma resistência média de cerca de 4,3MPa e a um fator de tenacidade da ordem de 3,0MPa ( $\sim 0,7 \times 4,3\text{MPa}$ ).

Os ensaios foram realizados em corpos-de-prova prismáticos moldados sobre mesa vibratória seguindo as recomendações prescritas pela norma JSCE-SF4. Devido à variação na geometria das fibras foram utilizados dois teores de fibras de apr: 30 e 35kg/m<sup>3</sup> da fibra do fornecedor C e 35 e 40 kg/m<sup>3</sup> do fornecedor D. Os ensaios de tenacidade foram realizados a 14 dias de idade para todos os teores e a 28 dias de idade para o teor de 35kg/m<sup>3</sup> para ambas as fibras.

Analisando os resultados obtidos conclui-se que o valor exigido para a resistência à tração na flexão foi alcançado, o que garante a qualificação de todos os concretos neste requisito. Estima-se que a adoção de um consumo de 40 kg/m<sup>3</sup> irá garantir o desempenho do concreto com segurança para os tipos de fibra analisados.

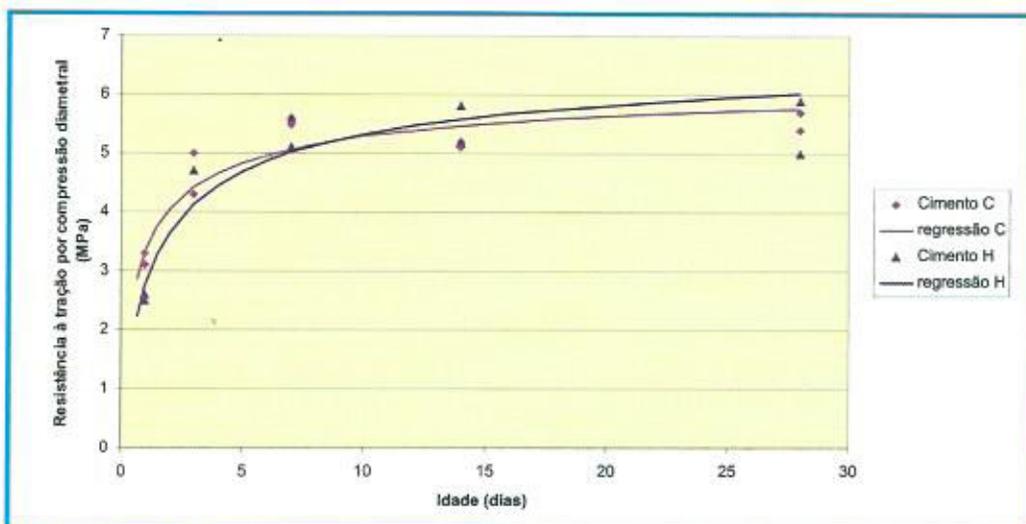


Figura 2: Evolução da resistência à tração por compressão diametral com a idade.

### 3 - Conclusões

Procurou-se mostrar ao longo deste trabalho que é possível incorporar novas tecnologias para o desenvolvimento de um produto de grande responsabilidade, como é o caso do anel de concreto para o túnel com tuneladora, que vão conferir ao produto final uma grande melhoria de qualidade. Os estudos de viabilização dessas novas tecnologias para aplicações como a 4ª. Linha do Metrô de São Paulo ainda estão em desenvolvimento no momento. No entanto, acredita-se estar próxima a viabilização desse produto final no Brasil, incorporando as melhorias tecnológicas disponíveis atualmente no mercado nacional e consagradas no meio técnico internacional. ♦

### Referências

- BINDIGANAVILE, V., BANTHIA, N. - Fiber reinforced dry-mix shotcrete with metakaolin., Vol 23, Issue 6. December. 2001.
- CHAMA NETO, P. J. e FIGUEIREDO, A. D. - Avaliação de Desempenho de Tubos de Concreto Reforçados Com Fibras de Aço. 45º. Congresso Brasileiro do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), Vitória. 2003.
- FIGUEIREDO, A. D.; TANESI, J.; NINCE, A. A. - Concreto com fibras de polipropileno. Técnica, São Paulo, n. 66, 2002.
- KING, M. R. - Structural and Performance Testing carried out for the Arrowhead Tunnels Segmental Linings, Underground Construction International Conference, London, 2003.
- KITCHEN, A. - Polypropylene Fibres Reduce Explosive Spalling in Fire, Concrete Engineering International, April, 2001.
- LACERDA, C. S. e HELENE, P. R. L. - Estudo de Durabilidade, Frente à Penetração de ions Cloreto, em Concretos de Alto Desempenho com Metacaulim. 45º. Congresso Brasileiro do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), Vitória. 2003.
- LACERDA, C. S. e HELENE, P. R. L. - Estudo da Resistência Mecânica em Concretos de Alto Desempenho com Metacaulim. 45º. Congresso Brasileiro do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), Vitória. 2003.
- LIMA, R. C. A. e SILVA FILHO, L. C. P. - Analysis of High Performance Concrete With Polypropylene and Steel Fiber in High Temperature. 45º. Congresso Brasileiro do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), Vitória. 2003.
- MONTE R. e FIGUEIREDO A. D. - Comparative Evaluation of Test Methods for Determination of Superplasticizers Saturation Dosages in Cement Pastes. Seventh CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete. Berlin, 2003.
- NINCE, A. A.; COSTA, C. N.; FIGUEIREDO, A. D.; SILVA, V. P. - Influência das fibras de polipropileno no comportamento do concreto de alta resistência endurecido submetido à ação térmica. 45º. Congresso Brasileiro do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), Vitória. 2003.
- PINTO Jr., N. O. - Aduelas Pré-Moldadas em Concreto Reforçado com Fibras de Aço Para Revestimento de Túneis, UNICAMP, 2001.
- RABELLO, M. A., GALLO, G. e Holanda, F. G. - Uso de Metacaulim em Concreto e Argamassa. 45º. Congresso Brasileiro do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), Vitória. 2003.
- SHUTTLEWORTH, Peter - Fire Protection of Precast Concrete Tunnel Linings on the Channel Tunnel Rail Link, Concrete Engineering International, April, 2001.
- VANDEWALLE, M. - The Use Of Dramix Steel Fibers As Reinforcement For Segmental Lining. Tunneling the World - The Art of Tunneling, 2002.

# O Concreto Protendido na Arquitetura

Evandro Porto Duarte  
MAC Sistema Brasileiro de Protensão

### Introdução

Nos últimos 25 anos temos divulgado os conceitos e aplicações do concreto protendido para os engenheiros e para os arquitetos, com o intuito de dar a estes profissionais a visão das possibilidades que a protensão fornece às estruturas em vencer grandes vãos com menores alturas das peças. Alguns artigos técnicos e cursos foram realizados, principalmente para a classe dos arquitetos, projetando a possibilidade de, com um melhor conhecimento das possibilidades deste material, os projetos de arquitetura ficarem mais ousados e conseqüentemente conduzirem à aplicação da protensão. Baseado neste fato, ganhariam todos, especialmente os Arquitetos, pois poderiam produzir projetos mais arrojados e com isto conquistar um outro nível de visão arquitetônica, através das novas possibilidades.

De todos os trabalhos que desenvolvemos, nada tem sido mais importante do que demonstrar, através dos trabalhos realizados pelo mago da arquitetura, Oscar Niemeyer, que já nasceu dotado da visão e das possibilidades do arrojado na utilização das estruturas esbeltas, que a protensão resolve os problemas criados por este profissional, que, na sua concepção arquitetônica, utiliza todos os desafios estruturais, concebendo estas estruturas, com poucos apoios, dimensões leves e conseqüentemente esbeltas. A seguir iremos mostrar, através de exemplos reais, como a protensão consegue atender às demandas criadas por este fenomenal arquiteto.

### Conceitos

Sendo o concreto protendido não somente um material de construção, mas também um excelente sistema construtivo e, ainda, um parceiro dos projetistas como manipuladores dos sistemas

estruturais, as soluções estruturais mais complexas sempre passam pela aplicação da solução em concreto protendido. O concreto protendido tem sido usado nas mais diversas aplicações de obras, em nossa engenharia estrutural, tendo no seu início sido aplicado predominantemente nas pontes e viadutos. Porém, ao longo dos tempos, as aplicações evoluíram para: peças pré-moldadas (industrialização de peças em concreto), passarelas, reservatórios, reforço estrutural. Nos últimos dez anos, novas aplicações apareceram, com uma forte evolução, principalmente nas lajes cogumelos protendidas e numa nova concepção de pontes, as pontes estaiadas. No momento, uma nova aplicação tem crescido bastante, a aplicação da protensão em pisos industriais, devido a sua grande versatilidade de eliminar a maioria das juntas estruturais, foco da maior parte dos problemas neste tipo de obra.

Protender significa introduzir forças de baixo para cima na peça, as "forças de desviação", que combatem os carregamentos (forças de cima para baixo), atuantes na peça, portanto diminuindo os momentos fletores e esforços cortantes atuantes nas peças. Com menores esforços, a peça poderá ter menores dimensões, portanto, vem daí a grande vantagem (tripla) do concreto protendido, em relação às peças em concreto armado. Tripla, no sentido de reduzir diretamente o volume de concreto da peça; reduzir o carregamento de peso próprio, que na maioria das estruturas é a parcela predominante dos carregamentos; e reduzir as cargas de reação nas fundações, conseqüentemente reduzindo-se o custo destas.

Do acima exposto, podemos verificar que a utilização da protensão nas estruturas conduz a uma esbeltez das peças que forem protendidas, e, portanto, esta aplicação propiciará a possibilidade ao profissional que a utilizar, de manipular, da melhor forma possível, as dimensões das peças, conduzindo

a um rendimento estrutural mais adequado, quando ocorrerem, devido às concepções arquitetônicas impostas, dificuldades em respeitar os gabaritos necessários ou geometrias exíguas, exigidas pela estética da peça em questão.

A solução da utilização da protensão tem sido comercial e tecnicamente a mais viável, sendo as pontes com vãos superiores a 20,0 m o caso mais forte de exemplificação, pois, caso se queira utilizar a solução em concreto armado neste tipo de obra, esta opção conduzirá não só a um maior custo final da estrutura, como também a dimensões superiores às necessárias em concreto protendido.

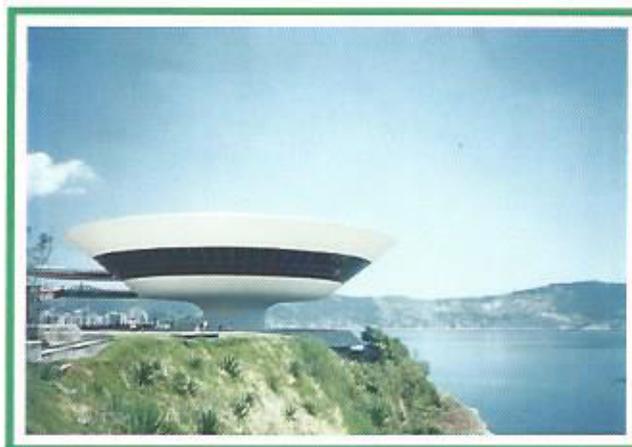
No caso da aplicação da protensão na industrialização de peças pré-moldadas, a viabilidade vem através da redução de volume de concreto e, conseqüentemente, do peso da peça. A utilização da protensão em reservatórios elevados tem se mostrado a mais adequada possível, haja vista que a melhor forma geométrica deste tipo de estrutura é a circular. Tendo estes reservatórios a forma circular, os esforços predominantes são o de tração provenientes do empuxo, e como o concreto não trabalha bem a tração, a solução é conduzida por se comprimir este concreto, através da aplicação de protensão horizontal perimetral.

No caso do reforço estrutural de obra, seja por aumento de sua capacidade resistente, seja por falha em sua capacidade resistente, a aplicação da protensão é viabilizada por não criar a necessidade de aumento de volume de concreto da peça a ser reforçada, e também recuperar qualquer acréscimo de deformação porventura ocorrida nesta peça.

No caso das obras a seguir apresentadas, a aplicação da protensão foi a soma das virtudes e vantagens indicadas anteriormente nos diversos tipos de aplicação, juntamente com o fato de que, sem a utilização da protensão, estas obras não estariam hoje, parte sendo construídas e parte sendo vistas como uma obra de arte, como foram concebidas pelo arquiteto que as projetou. Podemos afirmar com orgulho que, sem a utilização deste fenomenal material de construção, o concreto protendido, as obras de arte que vamos apresentar a seguir, não poderiam ser vistas nem ficariam para a posteridade. O maior exemplo que pode ser dado é o Museu de Arte Contemporânea, em Niterói, considerada uma das 7 Maravilhas do mundo atual.

Cabe aqui deixar uma mensagem para os profissionais da engenharia e da arquitetura que têm no bojo de seu trabalho o orgulho de ver erigida a obra da qual participou. Daqui a muitos anos, essas obras poderão ser vistas com a mesma admiração como hoje vemos as Pirâmides e os Grandes Monumentos que, além de serem marcos para a Humanidade, se tornaram Obras de Arte que tanto nos orgulham ao olharmos, deixando depreender as dificuldades quanto a sua execução, porém, mais do que nunca, deixando transparecer a felicidade do dever cumprido.

## Museu de Arte Contemporânea em Niterói



Vista geral MAC Niterói

Esta obra composta por dois grandes monumentos, a saber: o próprio Museu e a Passarela que lhe dá acesso, é o exemplo vivo de obra com solução predominantemente protendida. Este Museu, que tem dimensão circular de 40,0 m de diâmetro, composta por uma estrutura em forma de cálice, onde os balanços se lançam de forma exuberante através do fuste de base, considerada uma das Maravilhas do mundo atual por sua belíssima estética somada ao local de implantação, sobre uma rocha que aflora do leito da Baía de Guanabara.

A sua concepção estrutural está eminentemente ligada às possibilidades da protensão, haja vista as dificuldades existentes devido às formas curvas e aos grandes rasgos ao longos das paredes de concreto. Com isto os cabos de protensão foram dispostos com formato de estrela e costurando-se um trecho da abóbada sobre outro (ver foto abaixo). Este Projeto Estrutural foi desenvolvido pelo Escritório Bruno Contarini, um dos mais competentes engenheiros que tem sido bastante utilizado pelo mestre arquiteto. Nesta obra a execução ficou a cargo da Construtora Presidente, a qual realizou no Rio de Janeiro inúmeros prédios do mais alto nível.



Detalhe de armadura do MAC Niterói

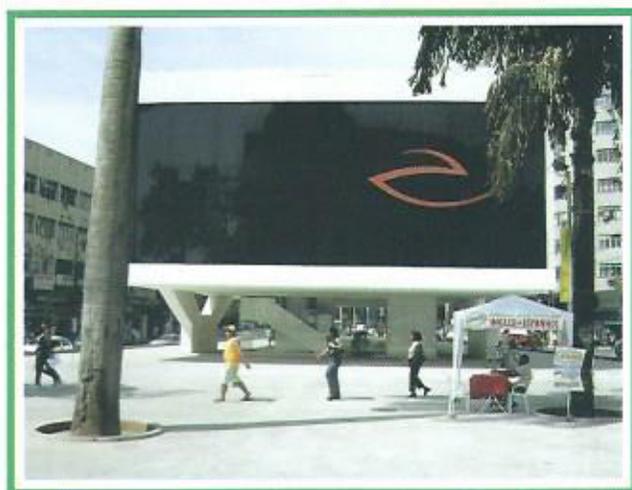
## Memorial Maria Aragão



Vista geral Memorial Maria Aragão

Esta obra executada em São Luis do Maranhão apresenta um Memorial a Maria Aragão, precursora da defesa dos mais necessitados. A obra é composta por um Memorial, Museu para Exposição de fotografias da homenageada e uma Concha Acústica para Shows. Estrutura de rara beleza com formas curvas arrojadadas e de complexo cálculo estrutural, tendo sido este desenvolvido pela empresa Casuarina Consultoria com a participação do eminente engenheiro José Carlos Sussekind e colaboração do engenheiro Mário Terra, que está se tornando um especialista em calcular este tipo de obra, de complexa execução de projeto em concreto protendido.

## Centro Cultural em Duque de Caxias no Rio de Janeiro



Vista geral Centro Cultural Duque de Caxias

Obra projetada pelo Arquiteto Niemeyer para a Prefeitura do Município da Cidade de Duque de

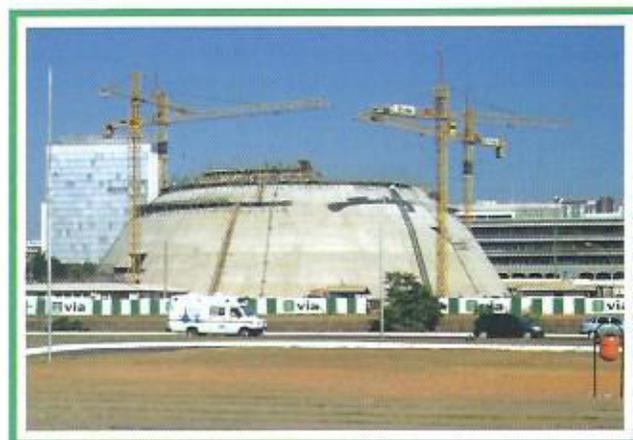
Caxias no Rio de Janeiro, composta pelas seguintes estruturas: um Teatro e uma Biblioteca com três pavimentos. Novamente a dupla de competentes calculistas da Casuarina Consultoria atuou, projetando uma bela e leve estrutura em concreto pretendido. Este exemplo é muito forte em constatar a clara aplicação da solução em concreto pretendido para vencer com esbeltez os vãos criados pelo arquiteto. Esta obra foi executada pela Construtora EIT, famosa pela sua presença em todo o mercado nacional.



Vista 1 - Teto Centro Cultural Duque de Caxias

## Museu Nacional de Brasília

Obra executada em Brasília, pela Via Engenharia, a qual também tem se destacado em inúmeras obras de qualidade em várias cidades do nosso país. Esta obra é composta pelas seguintes partes: Um Museu de Exposições, Rampas de Acesso ao Museu e um Restaurante com formas bastante arrojadadas. Novamente a empresa Casuarina Consultoria desenvolveu este Projeto Estrutural com a competente dupla de engenheiros anteriormente citada. ♦



Estrutura em Execução do Museu Nacional de Brasília

# Influencia del Diseño Arquitectónico en la Durabilidad de Estructuras de Hormigón

Pedro Castro, CINVESTAV, IPN Mérida, México

Fernanda Pereira, Ph Design

Renato Landmann, Brucken Engenharia

## Resumen

En este trabajo se hace un recuento filosófico de los factores que intervienen desde el punto de vista arquitectónico en la durabilidad de las estructuras, haciendo énfasis en la importancia que tiene la prevención de problemas patológicos para lograr estructuras bellas y durables.

## Introducción

Generalmente, cuando vemos un título como el de este trabajo, siempre tendemos a pensar en la parte negativa que sugiere la oración, es decir, ¿Qué errores del diseño arquitectónico influyen en la durabilidad de las estructuras de hormigón?. Esto no es raro, pues estamos acostumbrados a resolver problemas una vez que se detecten, por lo que es parte de nuestra formación. Sin embargo, profundizando en esta parte negativa, empezamos a buscar culpables y después de varias iteraciones llegamos a la conclusión de que el título debería ser más expresivo como por ejemplo: ¿Que errores del arquitecto, el estructurista, el constructor y otros intervienen en la durabilidad de estructuras de hormigón?. Lo cierto es que como profesionistas del concreto, estamos acostumbrados también a enfrentarnos a problemas que causamos nosotros mismos y a culpables que están dentro de nuestro propio gremio, es decir, una cultura de construcción en la que nos fijamos únicamente en quien o qué causa el problema pero no hacemos nada por encontrar y difundir las formas y mecanismos para evitarlas.

Si por otra parte nos enfocamos a visualizar el título desde un punto de vista constructivo y productivo, nos daríamos cuenta que la parte positiva, y por lo tanto la que más nos conviene, nos dice que en realidad debe haber una influencia, no solo del diseño arquitectónico sino de todos los demás parámetros involucrados en la concepción y servicio de la estructura, para que la estructura de hormigón sea durable. En otras palabras, debemos pensar que tomar una actitud de prevención de problemas patológicos en las estructuras será un paso esencial para lograr que éstas permanezcan en servicio satisfactorio por muchos años. De esta manera, filosóficamente hablando, el tema correcto y que refleja lo positivo de la idea del título de este trabajo debe ser entonces: "prevención de problemas de durabilidad en estructuras de hormigón".

## La prevención de problemas de durabilidad

Por lo general, nosotros estamos acostumbrados a resolver problemas y hacia el final de una inspección o dictamen decir como reparar, reforzar o rehabilitar. Sin embargo, poca atención tiene el hecho de que se puedan aprovechar estas experiencias para proponer mecanismos para que el problema no se vuelva a presentar en construcciones nuevas, es decir, prevenir el problema. Desafortunadamente es poco el material existente y enfocado hacia la prevención de problemas patológicos tanto para estructuras nuevas como para otras ya reparadas.



Figura 1. Puente en Yucalpetén, Yucatán con sistema de drenaje inapropiado

Para desarrollar el tema de prevención, primero debemos preguntarnos ¿porqué se presentan los problemas patológicos?. Algunas respuestas pudiesen ser:

- a) Falta de preparación sobre el tema desde estudiante
- b) Falta de clases relativas al tema en pre y posgrado
- c) Creencias incorrectas
- d) Supervisión incorrecta o corrupta
- e) Selección inadecuada de Materiales y sistemas
- f) Mal uso de los materiales existentes
- g) Falta de seguimiento de especificaciones y normas
- h) Diseño estructural sin criterio de durabilidad
- i) Diseño de instalaciones sin criterio de durabilidad
- j) Diseño arquitectónico sin criterios de durabilidad, etc.

Y de lo anterior nace la siguiente pregunta: ¿porqué entonces no prevenir en

vez de reparar?. Algunas respuestas podrían ser:

- a) Por lo anterior en parte!!!
- b) Porque a pesar de estar concientes, no podemos luchar contra los esquemas actuales.
- c) Porque no hay un esfuerzo concertado de varios países e instituciones para tocar el tema.
- d) Porque no reconocemos que el problemas es complejo!
- e) Porque aprendemos de los errores y nos quedamos con la experiencia, etc, etc, etc.

Esta reflexión nos lleva a pensar que hacen falta grandes esfuerzos, sobre todo institucionales y de unión entre países para lograr que la cultura de la prevención de problemas patológicos en la industria de la construcción quede enraizada en nuestro quehacer cotidiano. Durante este artículo se describirán algunos esfuerzos actuales en esta línea.

### Casos de problemas patológicos y detalles para prevenirlos.

Son ininidad las áreas y temas en los que la prevención de problemas patológicos puede intervenir. Sin embargo, uno de los más importantes, y quizá el que mayores daños ocasiona, es el control de aguas y humedades. A manera de ejemplo se presenta un caso de problema patológico por manejo inadecuado de humedades y su posible solución:

En muchas estructuras, pero sobre todo en estacionamientos y desagües de puentes, es común encontrarse sistemas básicos de desagüe de aguas o, peor aún, la existencia de éstos pero ocasionando el efecto contrario al que se desea. La Figura 1 muestra el caso de un puente donde un sistema de drenaje inapropiado causó acumulaciones de humedad y deterioro por corrosión a los pocos años de uso.

La Figura 2, por su parte, muestra una serie de esquemas con las maneras correctas e incorrectas de hacer los goteros y con ello se prevengan situaciones como las de la Figura 1.

Figura 2. Secuencia de esquemas con maneras incorrectas y correctas de hacer un gotero.

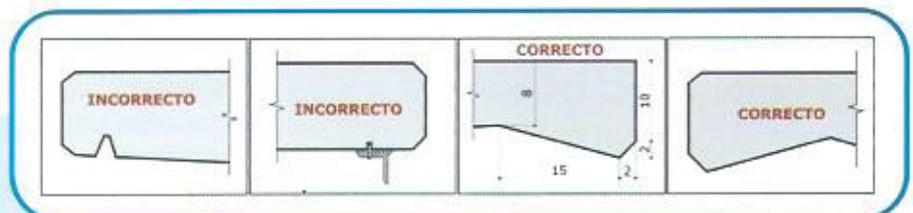




Figura 3. Caso de desniveles con pendiente inadecuada y causando problemas de acumulación de humedad y degradación del concreto.

Otro tema importante de manejo de humedades y aguas es el de los desniveles. La Figura 3 muestra un caso donde el desnivel, contrario a lo que establece el proyecto, se encuentra de la banqueta hacia fuera del pavimento y con ello se presentan problemas de humedades y de deterioro en sitios que no están protegidos contra el acceso de humedad en esta forma. Cuando el desnivel se hace correctamente, la apariencia y durabilidad de los elementos es mejor según se aprecia en la Figura 4 que es otra zona de esta banqueta. Los diagramas esquemáticos de la Figura 5 muestran, por su parte, la forma incorrecta y correcta de hacer los desniveles contemplados desde el proyecto.

Pueden esquematizarse un buen número de casos en los que se puede lograr la prevención de problemas patológicos por manejo de aguas, pero lo más importante es que deben crearse los mecanismos de transferencia de conocimientos al medio técnico y profesional para que este tema se aplique a fondo con los resultados correspondientes.

### Acciones y productos que pueden surgir de la problemática

El tema de prevención de problemas patológicos es un tema de interés muy fuerte en la comunidad internacional y que está poco a poco dando lugar a:

a) Esfuerzos de grupos internacionales (comités de asociaciones, grupos científicos)

a) Formación de recursos humanos

a) Normativa nacional e internacional

a) Creación de literatura al respecto

a) Estrategia de grupo:

a) Acciones más urgentes, inspeccionar, diagnosticar, rehabilitar

b) Acciones a largo plazo: la prevención y el mantenimiento

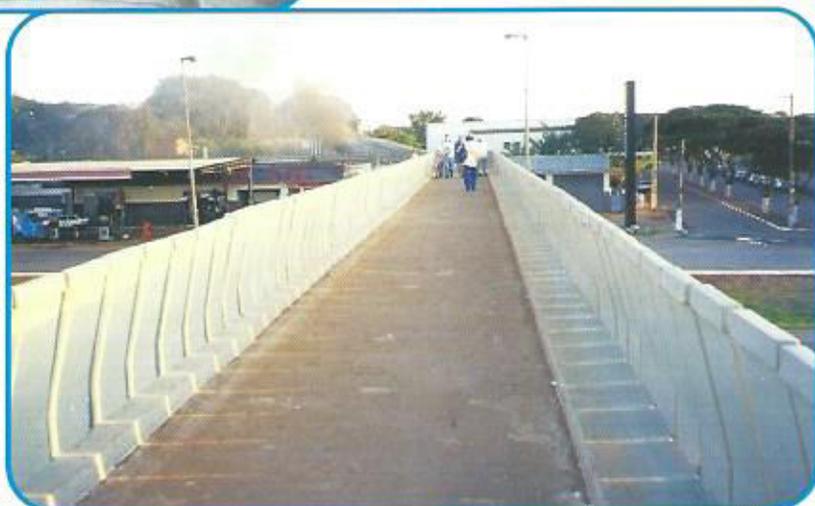


Figura 4. Caso de desniveles con pendiente adecuada, con los que se evitan degradaciones prematuras del concreto.

### Temas que puede y debe abarcar el área de prevención de problemas patológicos en las construcciones

El tema de prevención de problemas patológicos es extenso y abarca todas las áreas de la industria de la construcción. Algunos de los temas más importantes, y dentro de los cuales pueden haber varias sub-divisiones son los siguientes:

1. Conservación del entorno y la naturaleza en las construcciones. Esto es el desarrollo de información enfocada hacia la prevención de actividades y acciones que afecten positivamente la ecología humana y la naturaleza.

2. Fomento de principios de autonomía en las construcciones. Esto significa, por ejemplo, aspectos de cero mantenimiento, etc. (prevención de funciones

## Pátio de aeronaves do Aeroporto Afonso Pena: aplicação exemplar da tecnologia do concreto protendido

Eng. Manfred Theodor Schmid  
Rudolf Sistema de Protensão

O pátio de estacionamento de aeronaves do aeroporto de Curitiba - PR, Aeroporto Afonso Pena, localizado em São José dos Pinhais - PR, é um exemplo de aplicação eficaz do concreto protendido com aderência. Executado há mais de 10 anos (1994), foi o primeiro pátio de aeronaves a fazer uso desta tecnologia no Brasil.

A solução em concreto protendido possibilitou diversas vantagens em relação à solução similar, proposta inicialmente, em concreto simples. No pavimento rígido em concreto simples, a espessura da placa depende das condições de apoio, da carga de roda e da resistência do concreto à tração na flexão. No pavimento protendido a resistência à tração é consideravelmente aumentada pela compressão aplicada ao concreto, com o que a espessura se torna menor, as placas podem ser muito maiores e praticamente impermeáveis à passagem da água, resguardando a sub-base e sub-leito das influências de intempéries.

O projeto inicial em concreto simples previa placas de 3,0 x 6,0 com espessura de 35 cm. No pavimento protendido foi possível o uso de placas bem maiores (64,0 m x 44,8 m; 64,0 m x 60,4 m; 64,0 m x 116,5 m, conf. Fig.1) e a redução da espessura para 20 cm (conforme Fig.2), a qual absorveu boa parte do custo da protensão.



Fig. 1 - Lajes L-1, L-2, L-3 e L-4, representação em planta



Fig. 2 - Seção transversal típica do pavimento

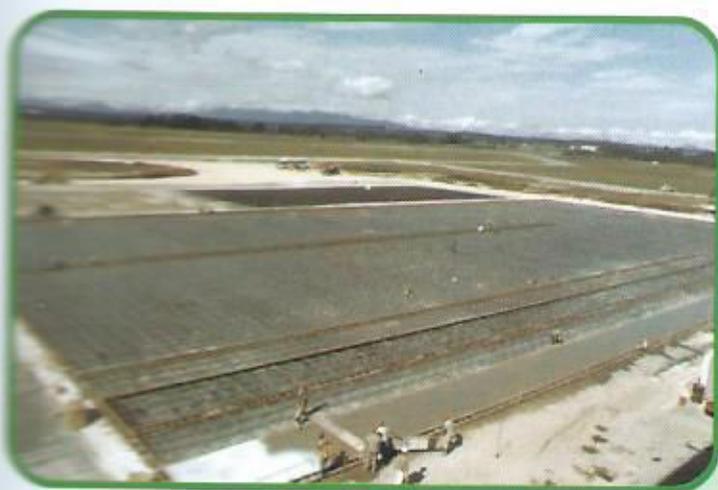


Fig. 3 - Lajes L-1 e L-2 em obras

Durante a construção das lajes L-1 e L-2 a Infraero decidiu acrescentar as lajes L-3 e L-4, razão pela qual foram usadas três juntas de dilatação em vez de uma e as mesmas não são equidistantes.

Foram adotadas juntas metálicas, capazes de compensar os efeitos da temperatura e as deformações elasto-plásticas do concreto ao ser protendido, além de resistirem naturalmente à carga de roda prevista.

A largura de 64,0m foi executada a partir de faixas de 3,40 m, concretadas sem interrupções, uma faixa por vez. A concretagem foi feita sem equipamentos sofisticados, apenas com a utilização de régua vibratória, tendo obtido resultado excelente.

Um detalhe interessante neste projeto foi a previsão de futura eventual inserção de um hidrante em posição determinada, após a protensão das lajes. Para isso, foram deixados, ao longo do seu eixo, dois cabos de protensão adicionais, um de cada lado, e uma armadura passiva destinada a "costurar" o futuro rasgo. Para garantir a aderência no futuro, as pontas desta armadura foram isoladas em 150 cm.



Fig. 4 - Faixa de concretagem de 3,40m e cura de faixa já concretada



Fig. 5(esq.) - Pátio em funcionamento, novembro/2005

Fig. 6(acima) - Junta de dilatação, novembro/2005



Fig. 6 - Junta de dilatação, novembro/2005

Outro detalhe interessante foi a inserção posterior, com o pavimento já pronto, de mais uma ponte de embarque. Aqui foi necessário recortar no pavimento o espaço necessário para a respectiva fundação. Como a protensão é aderente, após a cura da pasta de injeção, os cabos passaram a funcionar independentes de suas respectivas ancoragens, o que possibilitou que fossem cortados naturalmente e sem precauções. A protensão aderente permitiu também um excelente controle de fissuração, com menos aço.

Digno de menção é o cuidado que se teve em aplicar a protensão em etapas separadas por poucas horas e o cuidado durante o processo de cura das faixas. O concreto foi coberto com sacos de aniagem e mantido constantemente molhado.

Além do desempenho técnico da solução, salientamos a sua vantagem da pouca necessidade de manutenção na estrutura. Desde o início de funcionamento do pátio, só foram necessárias limpezas nas juntas de dilatação.

O desempenho exemplar do pátio de aeronaves do Aeroporto Afonso Pena, durante os seus 10 anos de existência, é resultado da excelência na sua execução, que esteve a cargo da Construtora Andrade Gutierrez, com protensão executada pela Rudloff Sistema de Protensão. Esta obra comprova a favorável relação custo-benefício que a tecnologia do concreto protendido pode proporcionar, quando bem planejada e executada.



Fig. 8 - Vista do pátio, 1995

#### Dados de projeto:

- Área total do pátio: 21623 m<sup>2</sup>
- Concreto: - fck = 30 MPa; fct ≥ 4,5 MPa  
- espessura: 20 cm
- Aeronave considerada: Boeing 767-300
- Temperatura máxima considerada: + 40° C
- Temperatura mínima considerada: - 5° C

## 8º CBC 2006 CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO

Concreto: dos Laboratórios de Pesquisa aos Canteiros de Obras

de 22 a 27 de setembro de 2006 - RIOCENTRO - Pavilhão 5 - Rio de Janeiro / RJ

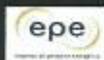
O maior evento técnico da Construção Civil brasileira

inscrições até:  
18/08/2006  
aceitação dos Resumos até:  
17/02/2006  
aceitação dos Trabalhos até:  
15/04/2006  
aceitação dos Trabalhos até:  
15/05/2006  
aceitação dos Trabalhos até:  
15/06/2006



Informações:  
[www.ibracon.com.br](http://www.ibracon.com.br)  
fone: (11) 3735-0200

Organização:



Apoio:



# A Importância das Exportações para o Mercado Brasileiro de Cimentos

Iatã Lessa  
Débora Miura Guimarães  
Prospectiva Consultoria

O setor de cimentos brasileiro terminou o ano de 2004 com uma produção total de 34,4 milhões de toneladas e uma capacidade produtiva instalada de 62 milhões de toneladas/ano, uma ociosidade de 45%. O consumo interno, por sua vez, decresce seguidamente desde 1999. Números como estes ilustram a necessidade de se avaliar alternativas que permitam aumentar o escoamento da produção nacional, tais como os investimentos em infra-estrutura e o estímulo às exportações.

Alguns indicadores apontam que os investimentos em infra-estrutura devem ter um impacto positivo no mercado de cimentos em 2006. Segundo o anuário 2005 da revista EXAME, dentre as 134 maiores empresas de infra-estrutura do país, 50% dizem que irão investir em 2006 mais do que em 2005 e 21% afirmam que investirão no mesmo nível de 2005. Nesta mesma amostragem, 71% dos entrevistados apontam as parcerias entre o setor público e o setor privado como a melhor alternativa para custear a expansão e modernização da infra-estrutura no país. Esta solução deve ganhar fôlego com a recente aprovação da lei das Parcerias Público Privadas (PPPs). Em suma, o cenário parece razoavelmente promissor, mas insuficiente para solucionar o problema da ociosidade da capacidade produtiva de cimento no Brasil.

A solução via exportações, por sua vez, enfrenta uma série de obstáculos. Em primeiro lugar, o chamado "custo logístico" do produto, que inclui o transporte terrestre, o transporte

marítimo e a armazenagem, é muito elevado no Brasil. Um problema comum acontece quando a demanda por navios e outros meios de transporte aumenta e o cimento passa a disputar os espaços disponíveis com produtos de maior valor agregado. Outra dificuldade importante para os exportadores é o atual cenário de câmbio valorizado.

Apesar de todas estas dificuldades, as empresas brasileiras têm obtido relativo sucesso na busca de novos mercados no exterior e as exportações do Brasil vêm crescendo desde 2001, como demonstra o gráfico 1. Apesar da significativa capacidade ociosa, o Brasil apresentava déficits no comércio de cimento até 2004, quando atingiu um equilíbrio na balança comercial. Em 2005 o desempenho exportador brasileiro melhora, passando de US\$ 24,8 milhões para US\$ 37,5 milhões, um aumento de 35%. As importações, por sua vez, decrescem 19% gerando um saldo positivo inédito nos últimos dez anos de US\$ 17,8 milhões.

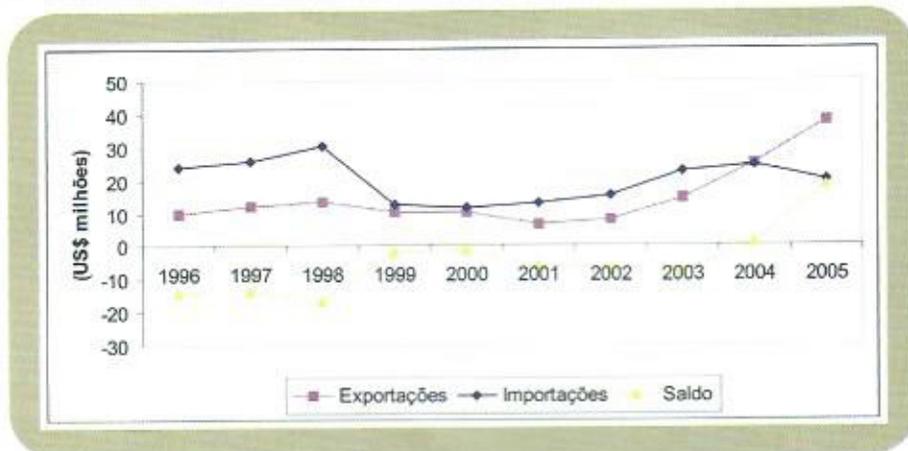


Gráfico 1 - Fonte: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio

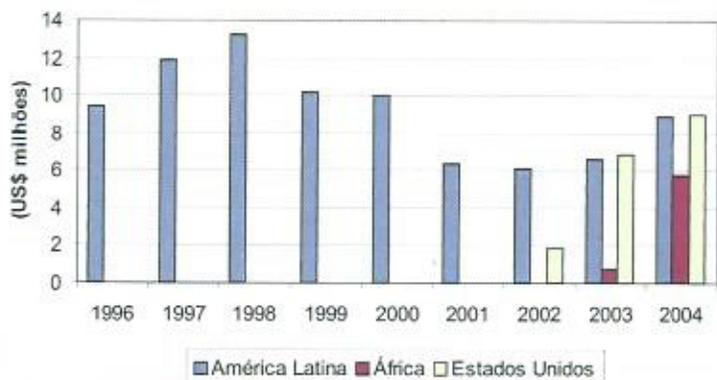


Gráfico 2 - Fonte: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio

Além da recuperação no saldo comercial, o comércio exterior de cimento apresenta outro movimento positivo: a diversificação dos principais destinos. A partir de 2002, o Brasil passa a exportar para os EUA. Em 2003, além de aumentar as vendas para este país, começa também a exportar para a África. Em 2004, os dois destinos apresentam crescimento significativo, como mostra o gráfico 2. A América Latina deixa de ser a única opção possível

para os exportadores brasileiros de cimento. É importante ressaltar, entretanto, que o setor exportador é concentrado em poucas empresas e os números são baixos e não podem ser interpretados como uma tendência sustentável deste desempenho.

Exportações de US\$ 37,5 milhões representam menos de 1 milhão de toneladas e podem ser consideradas irrelevantes diante de uma capacidade ociosa de mais de 30 milhões de toneladas. O Brasil, além disso, tem um longo caminho a percorrer se quiser alcançar outros países exportadores como Turquia, Tailândia, Japão e Índia que exportam

mais de 9 milhões de toneladas/ano cada um. No entanto, além de apostar no crescimento do mercado interno através de mecanismos como as PPPs, o governo e o setor privado brasileiros têm no horizonte valiosas oportunidades a ser exploradas no mercado internacional de cimentos. Só os EUA importaram 26 milhões de toneladas em 2004. Este e outros mercados como o chinês devem continuar na mira das empresas brasileiras. ♦

## PROSPECTIVA

Consultoria Brasileira de Assuntos Internacionais

### *Análise da Economia Internacional Estratégias de Inserção Externa Inteligência Comercial*

A Prospectiva é um guia seguro para sua empresa orientar-se no mundo globalizado. Seus profissionais unem ampla experiência empresarial a sólidas credenciais acadêmicas em economia, finanças, política e relações internacionais. Tudo isso com apoio de uma rede de contatos e representantes nos principais mercados.

- Oportunidades de negócio: EUA, Argentina, Chile, México, Caribe, Coréia do Sul, China
- Negociações e comércio internacional de serviços ■ Avaliação de acordos bilaterais e multilaterais
- Estudos de cadeias produtivas e integração regional ■ Prospecção de mercados

PROSPECTIVA

Consultoria Brasileira de Assuntos Internacionais

Rua Diogo Moreira, 135 - Pinheiros - São Paulo - SP - 05423-010  
Tel: (11) 3816.3636 - Fax: (11) 3816-0510  
www.prospectivaconsultoria.com.br

## Selante Pré-Formado para Juntas de Dilatação

Jorge Gabrielli Zacharias Galixto  
Mauricio Takeda  
JLENE Juntas e Impermeabilizações

### Definições

Juntas de dilatação são aberturas previstas e criadas nas estruturas para permitir movimentos de origem térmica e mecânica, deformação lenta, retração, frenagem e outros.

É necessário selar a junta para torná-la impermeável e evitar a infiltração de líquidos e o acúmulo de materiais sólidos. A penetração de líquidos pode causar o mau funcionamento da junta e deteriorar elementos da estrutura. O acúmulo de sólidos pode comprometer o comportamento estrutural da obra por transmitir esforços não previstos.

A junta elástica expansiva nucleada estrutural é uma técnica simples e constituída de três elementos:

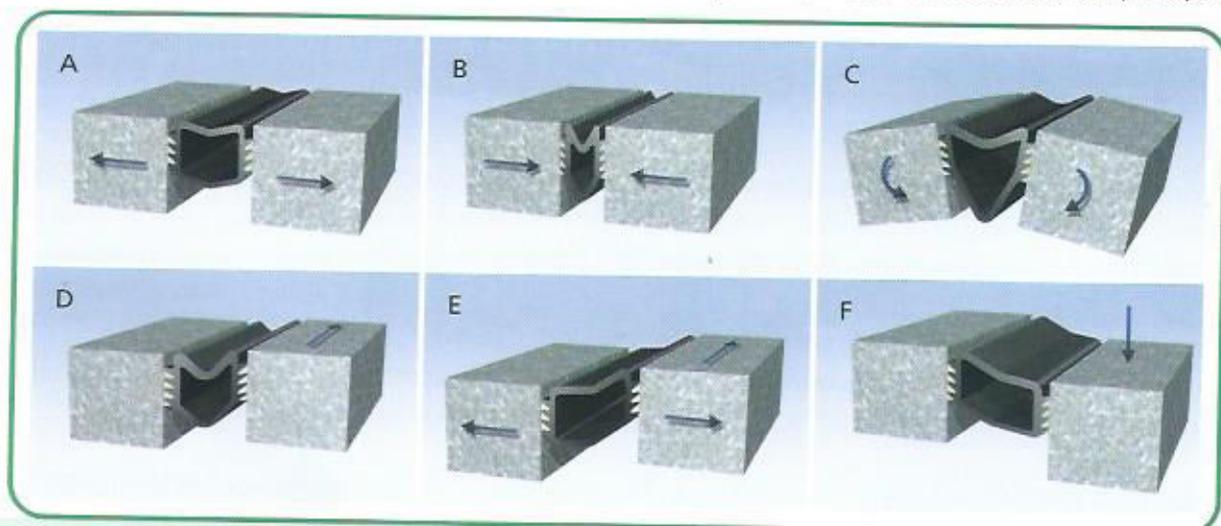
- ◆ Perfil Elastomérico;
- ◆ Adesivo;
- ◆ Pressurização, Vácuo ou Nucleação.

### Ensaio

Os perfis elastoméricos tiveram uma evolução expressiva em razão das necessidades da indústria automobilística em ter produtos para suportar bruscas variações de baixas e altas temperaturas. Face ao desenvolvimento e exaustivos ensaios, os elastômeros sintéticos como o policloropreno, nitrílica e principalmente o EPDM se consagraram como elementos de alta performance.

Mediante estes desenvolvimentos, a Indústria da Construção Civil se valeu dos conhecimentos e adaptou o emprego destes produtos às suas necessidades lucrando em qualidade.

Para comprovar a eficiência do sistema de selantes pré-moldados na Construção Civil, são realizados ensaios químicos e físicos seguindo as Normas ABNT 12624 e ASTM D2000. Os perfis elastoméricos são testados quanto à dureza, alongamento, tração, envelhecimento, resistência à intempérie notadamente quanto ao ozônio, ultravioleta e infravermelho. Já os adesivos são testados à compressão, tração na flexão e a ataques químicos.



Movimentos mecânicos - A: Tração, B: Compressão, C: Rotação, D: Cisalhamento, E: Combinados e F: Recalque Diferencial.

# A Nova NBR6118 e o Ensino do Concreto Protendido

Túlio Nogueira Bittencourt  
Departamento de Engenharia de Estruturas e  
Geotécnica da Escola Politécnica da USP

## Resumo

Neste artigo são apresentados alguns dos novos conceitos introduzidos na revisão da NBR6118 (também conhecida como NB-1) e suas conseqüências na demanda de formação dos engenheiros projetistas atuais e do futuro, principalmente no que se refere à aplicação do concreto protendido. São analisadas as estruturas curriculares de algumas escolas de engenharia civil para motivar a discussão sobre a necessidade de uma reestruturação e sobre o tipo de profissional projetista de estruturas de concreto que o mercado requer hoje e no futuro próximo.

## Introdução

Com a introdução da nova NBR6118 em 2003, o projeto de estruturas de concreto passou a tratar o concreto estrutural de uma forma única, englobando questões relacionadas à aplicação do concreto simples, do concreto armado e do concreto protendido de forma integrada e compatível. Várias inovações foram introduzidas, o que coloca a norma atual em patamares de equilíbrio às mais avançadas normas internacionais. Apesar da importância atual do concreto protendido nas suas mais diversas aplicações, os atuais currículos de Engenharia Civil nas mais prestigiosas instituições paulistas de ensino ainda não refletem essa realidade e o tema vem sendo tratado como uma tecnologia específica ligada ao projeto de pontes e viadutos. Este artigo procura apresentar de forma genérica os conceitos introduzidos na revisão da NBR6118 e a situação do ensino de concreto protendido em algumas instituições de ensino de ponta no nosso país.

## A Nova NBR 6118 e O Concreto Protendido

A nova versão da Norma NBR6118 entrou em vigor a partir de 2003 em caráter opcional e transitório, e em 2004 em caráter mandatório. Este intervalo de um ano foi crucial para propiciar uma melhor adaptação aos novos conceitos introduzidos dos diversos segmentos envolvidos na aplicação da nova norma.

Diferentemente da versão anterior de 1978, a NBR6118/2003 está focada somente no projeto de estruturas de concreto, já que houve uma separação dos assuntos relativos ao controle tecnológico e à execução, deixados para normas complementares (NBR12655 e NBR14931, por exemplo). Outra importante modificação foi a fusão do concreto simples, armado e protendido em uma única norma, o que redundou no cancelamento de algumas normas e na revisão de outras. No primeiro caso, pode-se citar o cancelamento das normas NBR 7197 - Projeto de Estruturas de Concreto Protendido, NBR 6119 - Cálculo e Execução de Lajes Mistas e a NB 49 - Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Simples (cancelada em 1995). Houve também a necessidade de revisão da NBR 7187 - Projeto e execução de pontes de concreto armado e protendido - Procedimento e também da NBR 8681 - Ações e segurança nas estruturas - Procedimento.

A nova NBR6118/2003 procura apresentar uma visão global da estrutura de concreto e enfoca aspectos inovadores como a durabilidade e a qualidade do projeto. A norma procura introduzir uma organização mais racional ao projeto estrutural e é fortemente baseada na utilização de recursos

computacionais, em acordo com as modernas tecnologias vigentes. Além de todas essas características apresentadas, é também possível uma análise estrutural mais refinada e mais confiável nas suas diversas modalidades: Análise Linear; Análise Linear com Redistribuição; Análise Plástica; Análise Não-Linear e Análise através de Modelos Físicos. A nova norma também tornou a consideração do vento obrigatória, independentemente do tamanho e da importância da estrutura e introduziu um tratamento bem mais elaborado para a consideração da punção. Trouxe também inovações na consideração das ações do fogo e explosões e, em suas revisões futuras, as ações sísmicas deverão ser adicionalmente consideradas.

A NBR6118/2003 define os critérios gerais que governam o projeto de estruturas de concreto de edifícios, pontes, obras hidráulicas, portos ou aeroportos, etc. Assim sendo, ela deve ser complementada por outras normas que tratem de estruturas específicas. Desta forma, podem-se listar os seus objetivos conforme abaixo:

- ◆ Fixar as condições básicas exigíveis para projeto de estruturas de concreto simples, armado e protendido.

- ◆ Aplica-se às estruturas de concretos normais, identificados por massa específica seca maior do que  $2\,000\text{ kg/m}^3$ , não excedendo  $2\,800\text{ kg/m}^3$ , do grupo I de resistência (C10 a C50), conforme classificação da NBR 8953.

- ◆ Estabelecer os requisitos gerais a serem atendidos pelo projeto como um todo, bem como os requisitos específicos relativos a cada uma de suas etapas.

- ◆ Estabelecer as condições exigíveis para evitar os estados limites gerados por certos tipos de ação, como sismos, impactos, explosões e fogo.

- ◆ No caso de estruturas especiais, tais como de elementos pré-moldados, pontes e viadutos, obras hidráulicas, arcos, silos, chaminés, torres, estruturas *off-*

*shore*, ou em que se utilizam técnicas construtivas não convencionais, tais como fôrmas deslizantes, balanços sucessivos, lançamentos progressivos, concreto projetado, as condições desta Norma ainda são aplicáveis, devendo, no entanto, serem complementadas e eventualmente ajustadas em pontos localizados, por Normas Brasileiras específicas.

O que se observa atualmente é uma forte integração do concreto protendido às aplicações mais comuns, como edifícios residenciais, comerciais, galpões industriais, centros comerciais, aeroportos, etc., em paralelo às aplicações usuais em pontes e viadutos, barragens, e grandes estruturas. Essas aplicações já eram uma realidade antes da vigência na nova norma de concreto em decorrência do aparecimento das cordoalhas engraxadas e dos macacos de protensão mais leves e de fácil operação. Atualmente se espera que a utilização do protendido seja impulsionada por uma normalização mais moderna e compatível com as atuais necessidades de projeto e das construções. Contudo, é necessária uma preparação do engenheiro de estruturas para essa nova realidade. Lamentavelmente, a situação nas escolas de engenharia no Brasil não apontam nessa direção. Em razão das constantes reduções da carga horária dos cursos de engenharia civil, muitas vezes o concreto protendido tem sido penalizado como uma tecnologia muito específica e deixada para disciplinas eletivas ou apresentado de forma reduzida em disciplinas de projeto de pontes. Os conceitos do concreto pré-moldado que utilizam fortemente a tecnologia de protensão, muitas vezes não são apresentados aos alunos de graduação.

## Ensino do Concreto Protendido

Nesta seção é apresentada a situação do ensino do concreto protendido nas principais escolas de engenharia civil no Estado de São Paulo, onde o assunto continua a ser considerado importante, mas

Tabela 1 – PEF2304

Disciplina	PEF2304 - Estruturas de Concreto II
Conteúdo	Cálculo e limitação das deformações; - Abertura das fissuras; - Fadiga; - Flexão normal e composta; Flexão oblíqua composta; - Estruturas contraventadas e de contraventamento; - Pilares contraventados: - pilar padrão; - pilares: central, de extremidade e de canto; Estabilidade global de edifícios; Protensão: - concepção; - estado limite de utilização; segurança à ruptura na flexão.
Bibliografia	1- Notas de aula; Santos, 2- Lauro Modesto dos, Cálculo de Concreto Armado, vol. 2 Editora Edgard Blucher Ltda, 1977; 3- Montoya, P. J., Hormigon Armado. Editorial Gustavo Gili S A, Barcelona; 4- Fusco, Péricles Brasiliense, Estruturas de Concreto Armado - Solicitações normais Editora Guanabara Dois, RJ; 5- Sussekind, José Carlos, Curso de Concreto, Vols. 1 e 2. Editora Globo SA, RJ; 6- Pfeil, W., Concreto Armado Livros Técnicos e Científicos Ltda, RJ; 7- Leonhardt, F. e Monnig E., Construções de Concreto. Livraria Interciência Ltda, RJ, 1977.

ainda sob a forte influência das aplicações para pontes e viadutos. Cabe salientar que a situação aqui apresentada não é muito diferente nas escolas de engenharia civil pelo Brasil afora, podendo até ser bem pior em comparação às principais escolas de São Paulo. Embora a carga curricular dos cursos esteja sendo revista na maioria destas escolas, a pressão tem sido cada vez maior na direção de reduzir ou eliminar os assuntos mais específicos, deixando para os cursos de especialização e pós-graduação a tarefa de formar os quadros técnicos ligados, por exemplo, ao projeto de estruturas de concreto protendido. Esta situação é perfeitamente possível, mas cabe perguntar se é a situação desejável, já que não temos em nosso país um controle profissional adequado que garanta a qualificação adequada dos nossos projetistas. Em princípio, todos os engenheiros civis estão habilitados a projetar qualquer tipo de estrutura de concreto, protendida ou não.

criado o curso de especialização intitulado *Gestão de Projetos de Sistemas Estruturais (GPSE)* no PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia ([www.website.pece.org.br](http://www.website.pece.org.br)). Esse curso de especialização é voltado ao aperfeiçoamento do projetista estrutural com ênfases em estruturas de concreto, estruturas metálicas, estruturas de madeira e estruturas mistas. Dentro da ênfase do concreto, é oferecida a disciplina *ES07 – Concreto Protendido*, com os objetivos de introduzir os conceitos sobre projeto de estruturas de concreto protendido; de transmitir os avanços tecnológicos provenientes da atualização de normas técnicas; e de transmitir aos participantes as técnicas modernas de concepção e projeto. Os alunos de graduação interessados podem cursar tanto a disciplina de pós-graduação, quanto a de especialização para complementar sua formação na área do concreto protendido.

Tabela 2 – PEF2404

Disciplina	PEF2404 - Pontes e Grandes Estruturas
Conteúdo	Introdução às pontes e grandes estruturas. Noções de concepção. Superestrutura das pontes. Tipos estruturais. Métodos construtivos. Materiais de construção. Comportamento estrutural e teorias de cálculo. Pontes em viga simples e múltiplas. Estruturas de concreto protendido. Tipos de protensão e sua representação no projeto. Noções sobre perdas. Estados limites. Noções sobre esforços hiperestáticos e fluência. Projeto de uma superestrutura em grelha com vigas protendidas. Meso e infraestruturas de pontes. Tipos e métodos construtivos. Teorias usuais de cálculo.
Bibliografia	1- Notas de Aula; 2- F. Leonhardt - Construções de Concreto - Vol. 5 e 6; 3- W. Pfeil - Pontes de Concreto Armado; 4- J. Mason - Pontes de Concreto Armado e Protendido; 5- W. Pfeil - Concreto Protendido; 6- J. Mason - Concreto Armado e Protendido; 7- Mathivat e Ferroux - Procédés Généraux de Construction - 2

Na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), este assunto vem sendo constantemente debatido, e no momento, procura-se uma alternativa de reformulação do currículo do curso de engenharia civil, de forma a garantir a formação de um profissional com as qualificações desejáveis de um engenheiro moderno e bem preparado para enfrentar as demandas do setor no Brasil e no mundo. Enquanto a solução definitiva não vem, o concreto protendido é apresentado na graduação em dois cursos: um de estruturas de concreto (Tabela 1) e outro de pontes e grandes estruturas (Tabela 2).

Nos programas de pós-graduação de mestrado e doutorado da EPUSP, os alunos podem cursar uma disciplina voltada ao estudo da protensão e industrialização (Tabela 3). É um curso atual e abrangente, que procura sanar as lacunas da formação dos pós-graduandos na área do concreto protendido.

A Escola Politécnica tem a preocupação de apresentar alternativas para formação e atualização dos profissionais de engenharia. Há alguns anos foi

No Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos (SET-EESC) a matéria Concreto Protendido sempre foi obrigatória. Em algumas épocas essa matéria era ministrada em conjunto com Pontes de Concreto. Em 2006, uma disciplina obrigatória específica para o concreto protendido será oferecida (Tabela 4). Na disciplina SET 411 são solicitados dos alunos a execução, o ensaio e a análise de resultados de uma viga de concreto armado e outra, com a mesma geometria, de concreto protendido (vão de cerca de 4 m, em emprego de pós-tração com uma cordoalha engraxada, força de protensão monitorada na extremidade com célula de carga) (Figura 1). Esta é uma maneira interessante de envolver os alunos e motivá-los ao estudo dos conceitos mais complexos do projeto de estruturas de concreto.

Na EESC é oferecida também a disciplina eletiva SET-609 - Estruturas de Concreto D, cujo conteúdo trata de complementos de concreto protendido. Na pós-graduação são ministradas duas

Tabela 3 – PEF5747

Disciplina	PEF5747 - Concreto Estrutural III - Protensão e Industrialização (Pós-graduação)
Conteúdo	Protensão: 1 - Introdução, histórico. Evolução das formas e sistemas construtivos. 2 - Protensão completa e protensão parcial. Fases de protensão. 3 - Efeitos da protensão. Tensões normais em condições de serviço. Critérios de dimensionamento. 4 - Forças de protensão. Perdas de protensão. 5 - Verificação da segurança em relação ao estado limite último de ruptura ou alongamento plástico excessivo. 6 - Verificação em relação aos estados limites de utilização. 7 - Arranjo das armaduras de protensão ao longo das peças. Ancoragens. 8 - Cisalhamento das peças protendidas. Armaduras transversais. 9 - Sistemas Hiperestáticos protendidos. Noções gerais. 1 - Projeto completo de uma estrutura de concreto protendido. Industrialização: 1 - Sistemas estruturais e peças usuais. 2 - Projeto de vigas. 3 - Projeto de elementos para pisos. 4 - Peças compostas. 5 - Ligações e elementos de fundação. 6 - Estabilidade global sob ação de forças horizontais. 7 - Esforços e situações presentes durante as fases de manuseio e montagem. 8 - Aspectos dos processos de fabricação, transporte e montagem.
Bibliografia	1 - Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro, ABNT, 2003. 2 - Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 7197 - Projeto de estruturas de concreto protendido. Rio de Janeiro, ABNT, 1989. 3 - Collins, M.P.; Mitchell, D. - Prestressed Concrete Basics. Canadian Prestressed Concrete Institute, 1987. 4 - Leonhardt, F.; Monnig, E. - Construções de concreto. Editora Inter-ciências. Rio de Janeiro, 1978. 5 - Leonhardt, F. - Prestressed Concrete: Design and Construction. Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1964. 6 - Lin, T.; Burns, N.H. - Design of prestressed concrete structures. John Wiley & Sons, 3ed, 1981. 7 - Nilson, A.H. - Design prestressed concrete, John Wiley, New York, 1987. 8 - Bljuger, F.E. - Design of precast concrete structures. Ellis Horwood, 1998. 9 - Bruggeling, A.S.G.; Huyghe, G. F. - Prefabrication with concrete. Rotterdam, A.A. Balkema. 1991. 10 - Elliot, K.S. - Multi-storey precast concrete framed structures. 11 - Prestressed/Precast Concrete Institute. Design and typical details of connections for precast and prestressed concrete. PCI, 2ed, Chicago, 1988. 12 - Prestressed/ Precast Concrete Institute. PCI design handbook: precast and prestressed concrete. PCI, 4 ed, Chicago, 1992.

disciplinas (SET-5883 Fundamentos do Concreto Protendido e SET-5809 Complementos de Concreto Protendido) que procuram complementar a formação dos alunos na utilização da tecnologia da protensão.

Na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Campinas (UNICAMP), o curso de concreto protendido está sendo modificado, assim como todas as outras disciplinas, pois o currículo do curso mudará dentro de pouco tempo. A disciplina EC-902: Concreto Protendido (Tabela 5) com 4 créditos faz parte do currículo atual. Essa disciplina é obrigatória e é oferecida no primeiro semestre do ano, mas desde o ano de 2000 tem sido repetida também no segundo semestre por causa do número de alunos que a procuram fora de fase. As disciplinas EC-702: Concreto Armado I (pré - requisito total) e EC-802: Concreto Armado II (pré - requisito parcial) devem ser cursadas anteriormente à disciplina de concreto protendido.

No Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira pertencente à Universidade Estadual Paulista, o quadro também é bem similar aos apresentados nas outras instituições. Existem disciplinas de concreto protendido e de construção de pontes que são cursadas no quinto ano do curso de engenharia civil. Estas são as únicas ocasiões durante o curso de graduação em que os alunos são apresentados ao tema.

Tabela 4 – SET-411

Disciplina	SET-411 Concreto Protendido
Conteúdo	Conceito de protensão aplicada ao concreto: materiais a empregar; sistemas de protensão; determinação da força de protensão; perdas de protensão; estados limites de utilização; traçado dos cabos; estados limites últimos; normas técnicas.
Bibliografia	1-ABNT. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. (NBR 6118), Rio de Janeiro, 2003; 2-ABNT. Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. (NBR 8681), Rio de Janeiro, 2003; 3- EL DEBS, M.K. - Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações. São Carlos, EESC/USP, 2000; 4- HANAI, J.B. - Fundamentos do concreto protendido. São Carlos, EESC/USP, 2005. (Notas de aula); 5- LEONHARDT, F. - Construções de concreto: concreto protendido. v.5, Rio de Janeiro, Editora Interciência, 1983; 6- PFEIL, W. - Concreto protendido. v.1, 2, 3, Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1984.

Tabela 5 – EC-902

Disciplina	EC-902: Concreto Protendido
Conteúdo	Introdução. Materiais. Sistemas de protensão. Pré-dimensionamento e dimensionamento. Disposição da armadura de protensão ao longo da viga. Estados limites último e de utilização.
Bibliografia	1-ABNT. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. (NBR 6118), Rio de Janeiro, 2003; 2-ABNT. Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. (NBR 8681), Rio de Janeiro, 2003; 3-LEONHARDT, F. - Construções de concreto: concreto protendido. v.5, Rio de Janeiro, Editora Interciência, 1983; 4- PFEIL, W. - Concreto protendido. v.1, 2, 3, Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1984.



Figura 1 – Trabalho prático na EESC – viga de concreto armado e protendido – SET-411

## Conclusões

A revisão da norma de projeto de estruturas de concreto (NBR6118) em 2003 refletiu a necessidade do setor de se modernizar e atender às exigências de durabilidade e qualidade exigidas pelo mercado. Há uma clara expansão da utilização do concreto protendido, balizada inclusive pela nova norma, e um descompasso na ênfase oferecida a este tipo de estrutura pelos principais cursos de engenharia civil no estado de São Paulo, por exemplo. As estruturas pré-moldadas e as lajes protendidas não são usualmente enfocadas nas disciplinas de projeto de graduação. Diante deste quadro, fica a pergunta: queremos um engenheiro civil capaz de projetar estruturas de concreto protendido ou devemos exigir uma maior especialização deste projetista e oferecê-la por meio dos nossos cursos de pós-graduação *strictu-senso* e *lato-senso*? O debate entre os principais agentes do setor, aglutinados pelo IBRACON e as instituições de ensino, talvez seja a maneira mais objetiva e mais transparente de procurarmos uma rápida resposta, pois a demanda para este tipo de estrutura já existe e tende a ser cada vez maior. ♦

## BIBLIOGRAFIA

- ABNT: NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. 2003.
- ABNT: NBR 14931 – Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento. 2004.
- ABNT: NBR 8681 – Ações e Segurança nas Estruturas – Procedimento. 2003.
- ABNT: NBR 7187 – Projeto de pontes de concreto armado e protendido – Procedimento. 2003.
- ABNT: NBR 12654 – Controle tecnológico de materiais componentes do concreto – Procedimento.
- ABNT: NBR 12655 – Concreto - Preparo, controle e recebimento – Procedimento.
- Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista – Campus de Ilha Solteira [[www.dec.feis.unesp.br](http://www.dec.feis.unesp.br)]
- Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos [[www.set.eesc.usp.br](http://www.set.eesc.usp.br)]
- Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica da Escola Politécnica da USP [[www.pef.usp.br](http://www.pef.usp.br)]
- Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Universidade Estadual de Campinas [[www.fec.unicamp.br](http://www.fec.unicamp.br)]
- PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia – Escola Politécnica da USP [[www.website.pece.org.br](http://www.website.pece.org.br)]

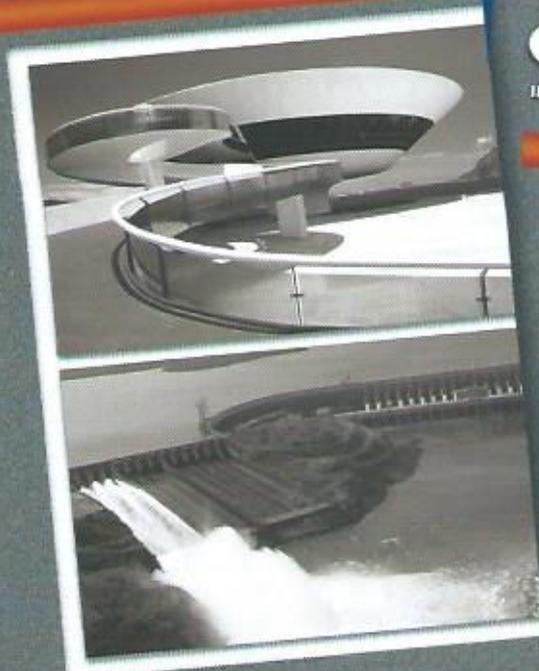
O IBRACON oferece, através de seu programa Master em Produção de Estruturas de Concreto, o curso Práticas de Projeto e Execução de Edifícios Protendidos



# CONCRETO

Ensino, Pesquisa e Realizações

Vol. 1



Editor Geraldo C. Isaia



# CONCRETO

Ensino, Pesquisa e Realizações

Vol. 2



Editor Geraldo C. Isaia

O livro "Concreto: ensino, pesquisa e realizações" é uma obra didática e visa divulgar o que de mais atual existe no país sobre a tecnologia das construções em concreto. Seu propósito é o de aprimorar os conhecimentos das gerações em formação e consolidar os conhecimentos existentes, servindo como livro-texto para disciplinas ministradas nas faculdades de engenharia e arquitetura do país. "É um livro de importância ímpar, em termos de uma publicação destinada a aprimorar o conhecimento dos alunos dos cursos de graduação e pós-graduação e comprometida com a atualização e reciclagem de conhecimentos dos profissionais do mercado, que não tem tempo de frequentar os cursos normais", destaca o professor Geraldo Isaia, editor do livro.

Os professores e alunos dos cursos de graduação em engenharia e arquitetura encontrarão neste compêndio conteúdos integrados relacionados a materiais de construção, concreto armado, protendido e de construção civil. Os alunos de pós-graduação têm à disposição material fruto de extensas revisões bibliográficas e que relaciona normas técnicas existentes no Brasil e no mundo. Já, os profissionais da construção civil encontrarão respostas para suas dúvidas sobre projetos, execução, manutenção, reabilitação de estruturas de concreto, assim como produção e controle do concreto.

Com o livro "Concreto: ensino, pesquisa e realizações", o IBRACON cumpre sua missão: divulgar o conhecimento da tecnologia do concreto em sua cadeia produtiva, estreitando os laços entre a academia e o mercado da construção civil

### "Concreto: ensino, pesquisa e realizações"

Capa dura  
Dois volumes: 1579 páginas  
Editor: Geraldo Cechella Isaia  
Editora: IBRACON

Valores:  
Sócios: R\$ 200,00  
Não-sócios: R\$ 250,00  
Estudantes: R\$ 150,00

Loja virtual: [www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)

# Orientações Básicas Para a Execução de Obras em Concreto Protendido

Maria Regina Leoni Schmid  
Rudloff Sistema de Protensão

O sucesso da tecnologia do concreto protendido e a obtenção de todas as vantagens técnicas que ela possibilita estão diretamente relacionados com a qualidade da execução do processo da protensão de uma estrutura, como um todo. A grande responsabilidade que a protensão pode ter na estabilidade da estrutura, requer que ela seja executada com cuidados especiais e o acompanhamento por pessoal especializado e experiente.

Com o objetivo de possibilitar uma orientação básica à execução de estruturas protendidas, expomos a seguir algumas recomendações importantes para a sua realização. Trata-se de um roteiro resumido aplicável a qualquer sistema, visando lembrar de itens importantes que nem sempre são levados em consideração no processo da protensão. Procedimentos mais completos devem ser obtidos junto a normas técnicas e prestadores de serviços de protensão.

### Referências Normativas

Recomenda-se às empresas executantes do concreto protendido o conhecimento das normas técnicas nacionais que contêm disposições necessárias à execução adequada da tecnologia, entre as quais destacamos:\*

- ◆ NB1: 2003 - Projeto de estruturas de concreto
- ◆ NBR6349: 1991 - Fios, barras e cordoalhas de aço para armaduras de protensão - Ensaio de tração
- ◆ NBR7187-NB2: 2003 - Projeto e execução de pontes de concreto armado e de concreto protendido

- ◆ NBR7482: 1991 - Fios de aço para concreto protendido
- ◆ NBR7483: 2004 - Cordoalhas de aço para concreto protendido - Requisitos
- ◆ NBR7484: 1991 - Fios, barras e cordoalhas de aço destinados a armaduras de protensão - Ensaio de relaxação isotérmica
- ◆ NBR7681: 1983 - Calda de cimento para injeção
- ◆ NBR10839: 1989 - Execução de obras de arte especiais em concreto armado e concreto protendido
- ◆ NBR 14931: 2004: Execução de estruturas de concreto

\* As edições indicadas acima estavam em vigor no momento desta publicação (12/2005). É conveniente que sua validade seja verificada junto à ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

### Recepção do aço e dos materiais de protensão na obra

Na recepção do aço de protensão na obra, devem ser verificados pelo menos os seguintes itens:

- ◆ compatibilidade do aço com as especificações do projeto estrutural;
- ◆ peso do material fornecido;
- ◆ homogeneidade do aço quanto às características geométricas;
- ◆ se o aço apresenta defeitos prejudiciais, tais como: esfoliações, bolhas, fissuras, corrosões, cor, revestimentos, etc.;

- ◆ se o aço contém óleo em sua superfície - caso isto aconteça, este terá que ser removido antes da fabricação dos cabos;

- ◆ se, após a abertura dos rolos, as cordoalhas sem tensão mantêm flechas inferiores a 15 cm em 2 metros de comprimento - rolos que não obedecerem estes valores devem ser rejeitados;

- ◆ se o acondicionamento das cordoalhas está respeitando as seguintes dimensões aproximadas:

- cordoalhas de 7 fios para protensão aderente: diâmetro interno 76 cm, diâmetro externo 139 cm, peso nominal 2800 kg, altura do rolo 76 cm;

- cordoalhas engraxadas de 7 fios: em rolos sem núcleo, pesando 2100 kg.

No recebimento dos equipamentos de protensão, na obra, devem ser verificados pelo menos os seguintes itens:

- ◆ se o equipamento é o correto para a obra;
- ◆ o seu peso, para dimensionar os equipamentos necessários ao seu manuseio;
- ◆ a voltagem dos equipamentos;
- ◆ os acessórios dos equipamentos.



Foto 1: bobinas de aço de protensão

### Estocagem dos materiais e equipamentos de protensão

O material deve ser estocado em um local que facilite a sua amostragem e movimentação no canteiro de obra, observando-se os seguintes cuidados mínimos

- ◆ Identificar cada produto na obra, de maneira a evitar trocas involuntárias.
- ◆ Estocar o aço de protensão preferencialmente na embalagem original do fornecedor, sobre piso ou pranchado de madeira, com distância mínima entre o aço e o solo seco de 30 cm.
- ◆ Providenciar cobertura suficiente sobre o aço de protensão, para protegê-lo contra as intempéries.

- ◆ Evitar que cordoalhas engraxadas fiquem no sol por muito tempo, para evitar danificação da capa plástica.

- ◆ Impedir que se use óleo solúvel em água para proteger o aço de protensão contra corrosão.

- ◆ Separar e identificar rolos ou bobinas dediferentes partidas de fornecimento. As partidas recebidas devem ser divididas em lotes, cuidadosamente marcadas, facilitando a amostragem para os respectivos ensaios.

- ◆ Estocar os cabos com uma identificação amarrada, contendo o número do cabo, o seu comprimento e a partida e o lote a que pertence.

- ◆ Caso seja indispensável a execução de solda ou o uso de maçarico nas proximidades do aço de protensão, providenciar proteção que garanta a integridade do aço, para impedir o seu aumento de temperatura ou que ele seja atingido por centelhas de solda.

- ◆ Proteger equipamentos de protensão contra qualquer dano e armazená-los em local coberto, seguro, limpo e seco, com acesso somente de pessoal treinado e qualificado para o seu uso.

### Confecção dos cabos

Na fase de confecção dos cabos, devem ser respeitados os seguintes itens:

- ◆ Inspeccionar todo o aço de protensão antes do seu uso. O aço deve estar limpo, isento de óleo e de resíduos.

- ◆ Verificar se existe oxidação no aço e providenciar a remoção de oxidações superficiais uniformes. Esta pode ser feita esfregando-se os fios com um tecido grosso ou com uma esponja plástica abrasiva. Em caso de dúvida quanto à gravidade do dano provocado pela oxidação, deverão ser executados ensaios especiais para a comprovação das propriedades mecânicas do aço. Oxidações localizadas, no aço, são mais perigosas que a oxidação uniforme superficial e não devem ser admitidas.

- ◆ Submeter o aço a ensaios para comprovação de suas características mecânicas originais, quando, após período de armazenamento prolongado, corrosão, manuseio inadequado ou outra razão, houver dúvidas sobre a sua qualidade.

- ◆ Impedir que cabos e cordoalhas sejam arrastados sobre o solo ou sobre superfícies abrasivas.

- ◆ Cortar o aço de acordo com o comprimento indicado no projeto, tomando-se o cuidado de verificar se neste já estão incluídos os comprimentos necessários para a fixação dos equipamentos de protensão.



Foto 2: instrumentos para a suspensão de equipamento de protensão

- ◆ Fabricar cada cabo preferencialmente com aço de uma mesma bobina.

- ◆ Impedir o uso de fios dobrados ou torcidos durante a colocação e protensão da armadura.

- ◆ Providenciar que o corte das cordoalhas para a confecção dos cabos seja feito por meio de disco esmeril rotativo ou tesoura. É vedado efetuar no aço de protensão cortes com maçarico, bem como endireitamentos através de máquinas endireitadoras ou qualquer outro processo, pois esses procedimentos alteram radicalmente as propriedades físicas do aço.

- ◆ Providenciar que extremidades do cabo, na região das ancoragens, estejam limpas e isentas de respingos de nata de cimento, argamassa, oxidação ou eventuais irregularidades dos fios, a fim de se garantir o ajuste perfeito das cunhas do macaco de protensão.

- ◆ Proteger os cabos fabricados (estirados ou enrolados) das intempéries.

- ◆ Montar os cabos de protensão preferencialmente antes da colocação de condutores de eletricidade e outros dispositivos mecânicos.

- ◆ Providenciar emendas entre bainhas por meio de luvas externas feitas com o mesmo material da bainha e diâmetro ligeiramente maior, e com emprego adicional de material de vedação.

- ◆ Providenciar que os materiais utilizados para a vedação das bainhas sejam adequados, sem causar ataque químico ou de origem eletrolítica às armaduras.

### Colocação dos cabos

Na fase de colocação dos cabos nas fôrmas, devem ser observados os seguintes itens:

- ◆ Locar as bainhas em relação à fôrma, segundo o projeto, obedecendo as tolerâncias admissíveis em relação às linhas teóricas do projeto.

- ◆ Colocar os cabos conforme ordem definida pela empresa executante da protensão.

- ◆ Colocar as bainhas na fôrma com fixação por meio de apoios constituídos por travessas, caranguejos, estribos ou pastilhas.

- ◆ Usar espaçamento dos suportes das bainhas suficiente para resistir às cargas durante a montagem dos cabos e concretagem da peça, bem como para impedir deslocamentos.

- ◆ Fixar as ancoragens de forma que não sejam permitidos deslocamentos durante os trabalhos subsequentes.

- ◆ Coincidir o eixo dos cabos de protensão rigorosamente com o eixo das ancoragens e em posição normal às faces da ancoragem.

- ◆ Usar preferencialmente travessas ou estribos semicirculares, a fim de se criar uma maior



Foto 3: pré-montagem de cabos aderentes

superfície de contato para a bainha e evitar que a mesma se desloque horizontalmente.

- ◆ Impedir a execução de solda entre as travessas ou estribos de sustentação e a armadura frouxa.

- ◆ Colocar armaduras de fretagem e fendilhamento em todas as ancoragens.

- ◆ Deixar retílineos os primeiros 50 cm a partir da ancoragem de qualquer cabo.

- ◆ Providenciar, quando necessário, vedações nas ancoragens e nas emendas de bainhas, para evitar entrada de nata nos cabos, na concretagem.

- ◆ Providenciar purgadores para controle da injeção nas extremidades dos cabos, nos pontos altos de cabos longos e obedecendo-se o espaçamento recomendado pela empresa de protensão. É recomendável a distância máxima de 20 m entre os purgadores, e o seu diâmetro externo de 25 mm ou 15 mm.

- ◆ Proteger pontas de cordoalhas, na parte externa dos blocos, com lona plástica.

- ◆ Evitar que as pessoas caminhem na obra pisando nos cabos já colocados.



Foto 4: pré-montagem de cabos engraxados

- ◆ Inspeccionar todas as bainhas, seus suportes e purgadores, para se detectar eventuais defeitos, tais como desalinhamentos, mostras, rupturas, orifícios ou deficiências de rigidez ou vedação.

- ◆ Verificar se as placas funil estão fixas nos nichos ou rebaixos, observando-se rigorosamente os ângulos de saída e dimensões de acordo com o projeto, assim como a fixação das fretagens. As bainhas devem estar sempre ortogonais com a placa funil.

- ◆ Examinar fixação e estanqueidade das junções entre purgadores, bainhas e cones de ancoragem.

- ◆ Examinar eventuais danos nas bainhas (deformações transversais e perfurações) e corrigi-los.

- ◆ Conferir se foram colocados todos os cabos definidos em projeto e inspecionar a armadura passiva, incluindo armadura de fretagem e fendilhamento.

- ◆ Verificar se há espaço útil suficiente para colocação e operação do equipamento de protensão.

### Cuidados durante e após a concretagem

Na fase de concretagem, devem ser respeitados os seguintes itens:

- ◆ Verificar se o concreto possui trabalhabilidade e diâmetro máximo do agregado compatíveis com o espaçamento de bainhas, ancoragens e armaduras passivas.

- ◆ Providenciar apoios para tubos de bombas de concreto, de forma a evitar que encostem nos cabos.

- ◆ Instruir a equipe que executa a concretagem sobre as posições onde devem ser introduzidos os vibradores, para que estes não danifiquem bainhas e purgadores. Recomenda-se que os vibradores tenham diâmetro pequeno e não sejam utilizados diretamente sobre as bainhas e junto às mesmas.

- ◆ Evitar que, durante a concretagem, vibradores e a concentração de pessoas danifiquem bainhas, ancoragens e os desloquem de suas posições definitivas.

### Verificações a serem realizadas antes da ancoragem

Anteriormente à concretagem, devem ser respeitados os seguintes itens:



Foto 5: colocação dos cabos em obra

purgadores e os desloquem de suas posições definitivas.

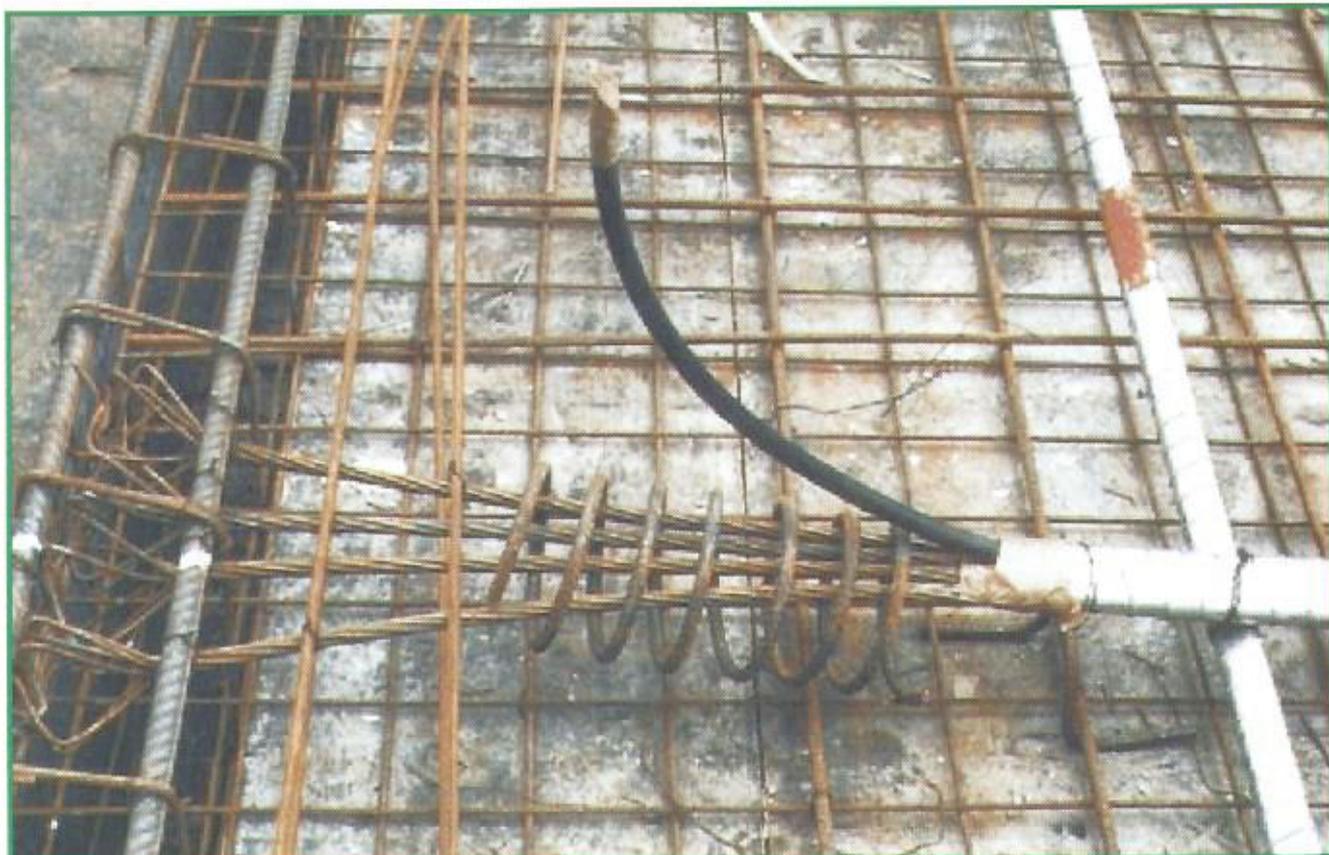


Foto 6: detalhe de purgador e armadura de fretagem junto à ancoragem

- ◆ Impedir que o concreto seja lançado a grande altura ( $\geq 2m$ ).
- ◆ Tomar cuidado especial para, na concretagem, preencher os vazios atrás e em torno das ancoragens.
- ◆ Usar método adequado para retirar eventual nata de cimento que tenha penetrado nas bainhas. Caso a limpeza das bainhas seja feita com água, deve ser seguida da aplicação de jato de ar, para a retirada completa da água, verificando-se antes se a rede de ar não se acha contaminada por óleo.

#### Verificações que precedem a operação de protensão

- ◆ Preparar dispositivos apropriados para perfeita colocação e operação dos equipamentos de protensão.
- ◆ Limpar e organizar os lugares da obra onde trabalharão os operadores dos macacos e delimitar áreas de segurança contra a permanência de pessoas em locais perigosos, durante a protensão.
- ◆ Verificar se as extremidades dos cabos e as placas funil estão limpas, sem irregularidades e com as inclinações especificadas.
- ◆ Verificar a integridade do concreto nos nichos e em todas as superfícies aparentes e solucionar eventuais problemas antes da protensão.
- ◆ Verificar se os blocos de ancoragens estão colocados com todos os seus clavetes (cunhas).
- ◆ Efetuar o reparo de eventuais falhas de concretagem da estrutura.
- ◆ Aferir manômetros do equipamento de protensão antes da primeira utilização e sempre que houver suspeita de indicações incorretas ou a cada 200 operações de protensão.
- ◆ Verificar as condições e extensão dos cabos de força das bombas elétricas, nível de óleo das bombas, aterramento e voltagem dos dispositivos elétricos, conexão dos cabos e purgadores, abertura do macaco com a bomba ligada e eventuais vazamentos.
- ◆ Verificar as pressões que deverão ser atingidas para a introdução da força de protensão.
- ◆ Numerar de forma clara e visível os cabos junto às ancoragens ativas e passivas.
- ◆ Verificar no projeto as especificações referentes à protensão: força de protensão e alongamento para cada cabo; extremidades do cabo que serão protendidas; resistência mínima do concreto na ocasião da protensão; fases de protensão em relação à força total; seqüência de protensão dos cabos a serem protendidos em cada fase.

- ◆ Corrigir os alongamentos teóricos através dos ensaios dos lotes de cordoalhas.

- ◆ Determinar áreas de segurança e garantir a não permanência de pessoas nas mesmas durante as operações do equipamento de protensão.

- ◆ Providenciar tabela apropriada para o registro dos principais dados da protensão de cada cabo. Recomenda-se incluir nesta dados de projeto e ensaios.

## Protensão

Na fase de protensão, devem ser respeitados os seguintes itens:

- ◆ Iniciar a protensão somente quando o concreto tiver alcançado a resistência mínima indicada em projeto, para poder suportar as tensões concentradas nas regiões da ancoragem. A verificação da resistência do concreto deve ser comprovada por ensaios de ruptura em corpos de prova.

- ◆ Executar a protensão conforme as fases e a sequência definidas no projeto.

- ◆ Posicionar o macaco sem carga na cordoalha.

- ◆ Verificar se o macaco instalado está perfeitamente ajustado na superfície de apoio da ancoragem. Se houver alguma falha no seu posicionamento, o macaco deve ser retirado e recolocado. Evitar fazer qualquer ajuste depois de introduzida alguma carga.

- ◆ Quando a protensão é feita pelas duas extremidades do cabo, providenciar que o aumento



Foto 8: pintura de cordoalhas, para medição de alongamentos

da pressão nos dois macacos seja feito simultaneamente e em intervalos iguais, e que seu descunhamento seja feito um após o outro.

- ◆ Controlar a protensão dos cabos, de forma a impedir que sejam tracionados com força além da especificada em projeto.

- ◆ Para cada cabo, anotar a pressão manométrica usada na protensão e o seu respectivo alongamento. Quando os cabos forem tracionados pelas duas extremidades, o alongamento é calculado utilizando-se a soma das leituras dos dois lados.

- ◆ Suspender a operação de protensão se houver qualquer dúvida sobre o processo.

## Aprovação dos resultados de protensão

Após a protensão, devem ser respeitados os seguintes itens:

- ◆ Comparar o alongamento total obtido com o alongamento teórico pré-estabelecido para cada cabo. Na falta de indicação específica no projeto, os valores de alongamento que se afastarem mais ou menos de 10% dos valores previstos devem ser comunicados ao responsável pela obra e/ou ao projetista, para interpretação e eventual tomada de medidas corretivas antes da liberação do cabo.

- ◆ Após a cravação, examinar a existência de eventuais escorregamentos dos fios e comunicá-la ao projetista da estrutura, para que sejam tomadas as medidas cabíveis.



Foto 7: operação de protensão

◆ Após a aprovação da protensão, cortar as pontas das cordoalhas junto ao bloco, deixando aproximadamente 3 cm para fora do clavete (cunha). O corte deve ser feito por meio de disco esmeril rotativo ou tesoura.

◆ Após o corte das cordoalhas, apicoar a superfície de concreto, limpar os blocos, executar ferragem (se for o caso), colocar forma juntamente com os purgadores para injeção e efetuar a vedação de todas as aberturas das peças componentes da

ancoragem, de forma a não haver vazamentos de calda durante a operação de injeção. Os nichos, após limpos, devem ser concretados e, eventualmente, poderão ser vedados com o uso de durepox.



Foto 9: operação de injeção dos cabos

### Injeção dos cabos de protensão (somente nos casos de protensão aderente)

A injeção de calda de cimento nos cabos de protensão aderente é fundamental para garantir o seu perfeito funcionamento. Seus objetivos são assegurar a aderência mecânica entre a armadura de protensão e o concreto e garantir a proteção da armadura contra a corrosão.

Obedecendo as normas técnicas sobre o assunto, recomenda-se que a operação de injeção seja realizada em no máximo quinze dias após a protensão.

Deve incluir, entre outros, cuidados com:

- ◆ temperatura ambiente;
- ◆ características dos equipamentos utilizados;
- ◆ lavagem dos cabos de protensão previamente à injeção;
- ◆ seqüência correta do processo;
- ◆ velocidade da injeção;
- ◆ composição e o armazenamento de cada elemento constituinte da nata de injeção;

- ◆ homogeneidade e fluidez da nata;
- ◆ resistência da nata;
- ◆ fechamento e corte dos purgadores;
- ◆ registro dos dados da injeção e de qualquer anomalia existente;
- ◆ determinação de áreas de segurança e garantia da não permanência de pessoas nas mesmas durante as operações do equipamento de injeção;
- ◆ resolução de eventuais problemas. ◆

#### Referências Bibliográficas

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931: Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7483: Cordoalhas de aço para concreto protendido - Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.



Fundado em 1972, com o objetivo de proporcionar profissionais das áreas de tecnologia, estruturas e construções, maiores conhecimentos, por meio de incentivos às pesquisas científicas e tecnológicas, assim como sua divulgação.

O IBRACON vem contribuindo desde então, nacional e internacionalmente, para o desenvolvimento de novas tecnologias e para a correta aplicação do concreto. O Instituto Brasileiro do Concreto é uma sociedade de Utilidade Pública sem fins lucrativos, e de âmbito nacional.

## MISSÃO IBRACON

Divulgar a tecnologia do concreto e desenvolver o mercado, articulando harmonicamente seus agentes em benefício dos consumidores e da sociedade geral, respeitando-se o equilíbrio ambiental.

## SERVIÇOS IBRACON

**PUBLICAÇÕES** - livros, periódicos, práticas recomendadas e artigos técnicos, disponibilizando o Estado da Arte em tecnologia para o setor.

**DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO** - novos materiais e novas técnicas construtivas, visando a diminuição de custos e do tempo de produção.

**EVENTOS** - congressos, workshops, concursos e reuniões, redondas, desenvolvendo os agentes do mercado, proporcionando um maior contato entre os profissionais da construção civil.

**INSTRUÇÃO** - cursos, seminários e palestras, melhorando a capacitação dos profissionais.

[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)



## VANTAGENS DOS SÓCIOS IBRACON

### CONCRETO ARMADO EM NOTÍCIAS

Elaborado em parceria entre as entidades do IBRACON, ABESC (Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem) e IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas); traz as últimas novidades sobre o concreto armado.

### REVISTA CONCRETO

Periódico trimestral de referência nas bibliotecas, faculdades e escritórios de engenharia e arquitetura, laboratórios de tecnologia e construtoras; traz artigos técnicos de importância que informam sobre o que há de novo no âmbito do cálculo, tecnologia, controle, métodos construtivos, propriedades do concreto, entre outros temas.

### DESCONTOS ESPECIAIS

Todos os sócios do IBRACON têm direito a 50% de desconto sobre o preço de todas as publicações do Instituto. Descontos substanciais em todos os eventos realizados com promoção ou apoio do IBRACON, especialmente, no Congresso Brasileiro do Concreto, realizado anualmente.

# Pontes e Viadutos em Balanços Sucessivos Protendidos

Ary Curty Jr.  
Alga Brasil Engenharia

O processo executivo através dos balanços sucessivos com cabos de protensão começou a ser utilizado no Brasil nos anos 60 do século passado, e desde então, tem sido bastante difundido em obras que necessitam de agilidade aliada aos vãos centrais de grande amplitude.

O Record de vão central no Brasil é o da ponte Internacional Tancredo Neves com seus portentosos 220 m, localizada perto do Rio Paraná na triplíce fronteira de Brasil, Paraguay e Argentina.

Como fato pitoresco da construção em balanços sucessivos com cabos de protensão, nas primeiras obras eram colocados todos os cabos que avançavam para o vão central, e, em cada aduela, eram enfiadas, nos respectivos trechos, as bainhas necessárias à proteção dos cabos, no trecho da aduela que iria ser concretada naquele avanço. É óbvio que aquela grande quantidade de cabos de protensão com comprimentos variáveis avançando para o vão central (esse processo era denominado de cabeleira), implicava em conseqüências desastrosas, tais como, ocorrer o embaraçamento dos fios ou cordoalhas. Em vãos sobre os rios dependendo da altura do tabuleiro em relação ao nível d'água, era necessário o auxílio de

flutuantes para que não ocorresse a submersão dos cabos.

Com o passar do tempo, já nos anos 70, e com uma melhor performance das bainhas metálicas semi-rígidas, o sistema foi aperfeiçoado e as bainhas eram deixadas vazias no concreto e, às vezes, eram colocados no seu interior tubos de PVC, para evitar qualquer amassamento. Esses tubos eram retirados imediatamente após a concretagem da aduela. Desde essa época, o processo ficou bem mais simples e a sua utilização, em larga escala, materializou-se rapidamente.

Outra evolução que estamos assistindo nos sistemas de protensão é que as antigas ancoragens manufaturadas com placa/funil estão dando lugar à ancoragem fundida em ferro nodular. Elas têm a vantagem de ser mais compactas e permitir uma melhor distribuição da força de protensão do cabo no concreto, pois temos 03 planos de distribuição, evitando o efeito cunha característico do sistema placa/funil.

A seguir, descreveremos 02 obras recentes, uma já em tráfego e outra em execução, para termos um bom exemplo da utilização desse processo.



Ancoragem fundida compacta com 03 anéis de distribuição das tensões no concreto.

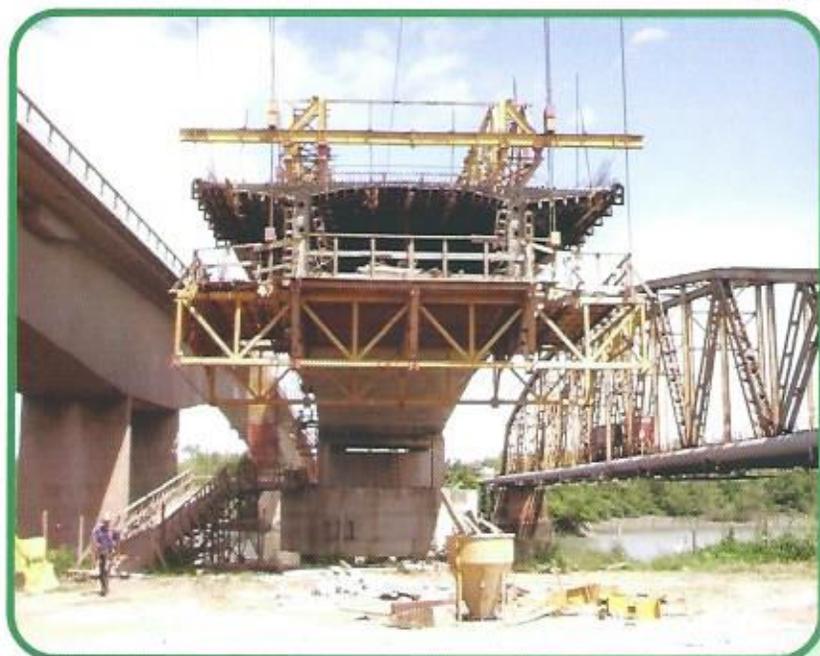
## Ponte sobre o Estreito dos Mosquitos

A Ponte sobre o Estreito dos Mosquitos, atualmente em construção e com previsão de conclusão para março/abril 2006, fica localizada na Rodovia BR 135-MA, no trecho São Luís/divisa MA-PI, e fará a segunda ligação rodoviária entre o Continente e a Ilha de São Luís no Estado do Maranhão. A 1ª ligação rodoviária é efetuada através da Ponte Marcelino Machado, que atualmente está sofrendo recuperação e reforço e encontra-se com capacidade reduzida de rodagem.

A Ponte sobre o estreito dos Mosquitos, tem uma extensão total de 454 m e largura total de 10,80 m. A estrutura do tabuleiro é apoiada sobre 4 pilares e 2 encontros. A disposição longitudinal é de 3 vãos centrais de 110 m cada e 2 vãos externos de 62 m cada.

O sistema construtivo, concebido pelo processo dos balanços sucessivos com auxílio de treliças metálicas de avanço, previu aduelas com 5 metros de comprimento cada, em caixão unicelular com 06 cabos de protensão 9T15, sendo instalados 03 cabos em cada viga.

A força inicial de protensão em cada cabo foi prevista em 182,70 Tf. O concreto fabricado com dosagem para resistência maior que 35 MPa, sendo que a aplicação da protensão exigiu do concreto uma resistência mínima de 25 MPa.



### Resumo Informativo

Proprietário: DNIT.  
Protensão: Alga Brasil Protendidos Ltda.  
Aço CP 190 RB 15,2 mm – 189.887 Kg.  
Ancoragens Alga 9T15 TIPO MG – 648 UN.  
Construtor: Arteleste Construções Ltda.  
Projeto: CAF & ENGEART.

Vista frontal da aduela e treliça metálica de avanço da Ponte sobre Estreitos dos Mosquitos.

## Viaduto na Rodovia Mogi - Dutra

O Viaduto está localizado na Rodovia Mogi - Dutra SP-88 Estaca 1691+10,00.

O Viaduto foi concluído no final do ano de 2004. Sua extensão total é de 181 m, sendo que o vão central mede 80 m (eixo de pilar ao eixo de pilar) e 2 vãos adjacentes de 50,50 m cada.

A superestrutura é apoiada em 2 pilares centrais e 2 encontros.

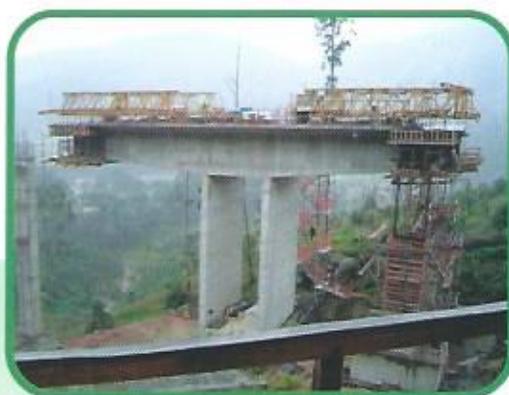
O sistema construtivo concebido pelo processo dos balanços sucessivos foi executado com 2 pares de treliças metálicas e as aduelas moldadas "in loco" = tipo caixão unicelular com 4 cabos de protensão 12T15 = com 02 cabos em cada viga.

A força inicial de protensão em cada cabo foi prevista para 240 Tf. ♦

### Resumo Informativo

Proprietário: DER SP.  
Protensão: Alga Brasil Protendidos Ltda.  
Aço CP 190 RB 15,2 mm – 85.756 Kg.  
Ancoragens Alga 12T 15 TIPO ML – 156 UN.  
Construtor: Construtora Queiroz Galvão.  
Projeto: PRODEC Consultoria.

Vista Lateral do par de treliças metálicas e aduelas do Viaduto Mogi Dutra.



**CIRCULAÇÃO  
DUVIDOSA.  
ESTE É O PREÇO  
QUE O CLIENTE  
PAGA POR VOCÊ  
NÃO ESTAR NO IVC.  
OU MELHOR,  
ELE ATÉ PAGA,  
SÓ NÃO LEVA.**

Junte-se ao IVC. Ele é o responsável pela auditoria de circulação dos principais jornais e revistas do país. A maioria dos veículos já faz parte. Agora é a sua vez.



INSTITUTO VERIFICADOR DE CIRCULAÇÃO

[www.ivc.org.br](http://www.ivc.org.br) / Tel.: (21) 2263-7791

## Apoios Elastoméricos

Luiz Gustavo Vieira de Mello  
Neoprex Indústria e Comércio

Tradicional na engenharia mundial começar falando do engenheiro Eugene Freyssinet e de maneira clichê iniciamos assim a estória do apoio 'elastomérico fretado', que a bem da verdade deveríamos abrasilizar 'elastômero laminado', de criação deste impar engenheiro, o primeiro apoio que se tem relato.

A fabricação e distribuição no Brasil, década de 60, era de responsabilidade da Stup Freyssinet, que tinha a norma francesa SETRA como especificação. Os primeiros apoios eram fabricados com chapas em sua maioria de 1 mm, chapas que ficavam expostas.

O elastômero utilizado já era o policloroprene, que tem sua criação datada de 1942. Na década de 70, órgãos como DER(s), DNER, DERSA, e também o IPT, desenvolveram recomendações para o ensaio de aparelhos de apoio, que eram compilações de normas mundiais como SETRA, AASHTO, DIN, entre outras. Algumas grandes obras nesta época tentaram aplicar apoios fabricados no Brasil, que foram descartados e comprados no exterior.

Com o início da década de 80, um grupo formado por engenheiros, físicos, fabricantes e engenheiros deu início à elaboração da Norma Brasileira de Aparelhos de Apoio NBR 9783 e, com sua finalização em março/87, data-se um novo conceito em fabricação de aparelhos de apoio fretados. Uma das grandes alterações é a exigência de recobrimentos tanto vertical quanto horizontal, com variação de 2,5 a 4,0 mm. Este item aumenta e muito a durabilidade dos apoios já que as lâminas de aço ficam protegidas de oxidação. Alguns apoios eram projetados com lâminas internas de aço inox que tem maior resistência à corrosão.

Existem variações do apoio, que podem ser fretados, fretados deslizantes e simples:

◆ Apoios Fretados são compostos de aço-carbono e elastômero. O aço utilizado é o

1020 laminado a frio e o elastômero policloroprene, devido à altíssima resistência a intempéries e alta resiliência, possibilita a aplicação desde pontes e viadutos até amortecedores de vibração.

◆ Apoios deslizantes são utilizados quando os esforços exigem uma altura do apoio que põem em risco sua estabilidade ou quando desejamos um maior movimento da superestrutura.

◆ Como o próprio nome diz "simples" são constituídos somente de elastômero e tem sua aplicação principal dirigida aos pré-moldados, dimensionados para cargas verticais de 30kgf/cm<sup>2</sup>.

Não pretendo me ater a formulas e detalhes de dimensionamento que podem ser facilmente encontrados em catálogos técnicos de fabricantes, mas tento apresentar de forma mais simplista e prática a trabalhabilidade dos apoios e principalmente as dúvidas que surgem em obras.

Os apoios Fretados são dimensionados para cargas verticais de 100kgf/cm<sup>2</sup>; em ensaio os apoios



Corpos de prova em teste de distorção

devem suportar 600kgf/cm<sup>2</sup>, o que é um bom coeficiente de segurança. Sabemos que esta diferença foi adotada da concepção da norma devido à falta de controle dos fabricantes. Após este ensaio não devemos observar rasgos ou descolamentos em nenhuma das interfaces do apoio.

Gostaria de fazer somente uma observação no ensaio dimensional, mas que relaciona-se com a compressão. Surge em ensaios executados uma não conformidade no paralelismo entre as camadas internas de elastômero. Tomando três pontos diferentes de uma mesma camada entre duas chapas de aço, muitas vezes observamos erros que ficam na casa de 0,1 a 0,2 mm, que muitas vezes são causadas por descontinuidade nas espessuras de chapa que podem ter + ou - 0,25 mm de variação. Pode isso condenar um apoio?

Voltemos à compressão, o paralelismo serve para garantir a distribuição uniforme dos esforços entre as intercamadas de elastômero. Se obtivermos um resultado satisfatório na compressão sem danos a intercamada, estes erros são realmente condenatórios?

Subjetivamente, não. O apoio suporta, mesmo com erro no paralelismo, uma carga 6 vezes maior que a concepção de projeto, portanto, em obra absorverá os esforços.

Para distorção leva-se em consideração a soma das camadas internas de elastômero; vemos que assim não importa a espessura de camada adotada, e sim sua altura total.



Corpos de prova em teste de compressão

Muitas vezes ouvimos chamar os apoios de amortecedores, o que não é de todo errado, o apoio tem a função de deformar-se juntamente com a meso e a superestrutura, e isso acarreta um menor sacrifício para a infra-estrutura, principalmente, se falarmos de pilares rígidos que exigem mais da fundação. Temos como exemplo o *Complexo do Glicério* que teve um dos blocos de fundação rachado por esforços provenientes do apoio rígido formado pela deterioração do apoio. A adesão elastômero/metal deve ter maior resistência que o elastômero.

Outro ensaio que tem suma importância em apoios é de envelhecimento em ozônio, este determina a utilização de policloroprene, e não de outro elastômero sintético ou mesmo borracha natural, pois o ozônio acelerando o envelhecimento fendilha elastômeros diferentes ao policloroprene a tal grau a ponto de pôr em risco a funcionalidade do conjunto.

Falando em conjunto, não devemos pensar em analisar um apoio somente pelo elastômero ou pelo aço. Caso testemos um elastômero que tenha resultados satisfatórios, isso não garante que o conjunto aço-elastômero funcione. Cito esta questão principalmente para obras a se adequar, a serem recuperadas ou simplesmente troca de apoios.

Temos hoje em norma o TB 45, é comum encontrarmos obras com TB 32 e até TB 24, ou seja, obra com mais de 25 anos. Quando olhamos para uma obra a ser recuperada a troca deve ser observada com cautela já que partimos da premissa que o apoio esta dimensionado com uma norma superada.

Hoje a fabricação de apoios tem uma norma rígida, tenho por experiência que se fabricarmos um apoio segundo a norma brasileira, ele atenderá a qualquer norma mundial, exceto em recobrimentos que são maiores em normas como AASHTO e EURONORMA. Sendo o policloroprene um elastômero tão resistente, que mantém suas características por mais de 20 anos, porque temos hoje tantos apoios danificados?

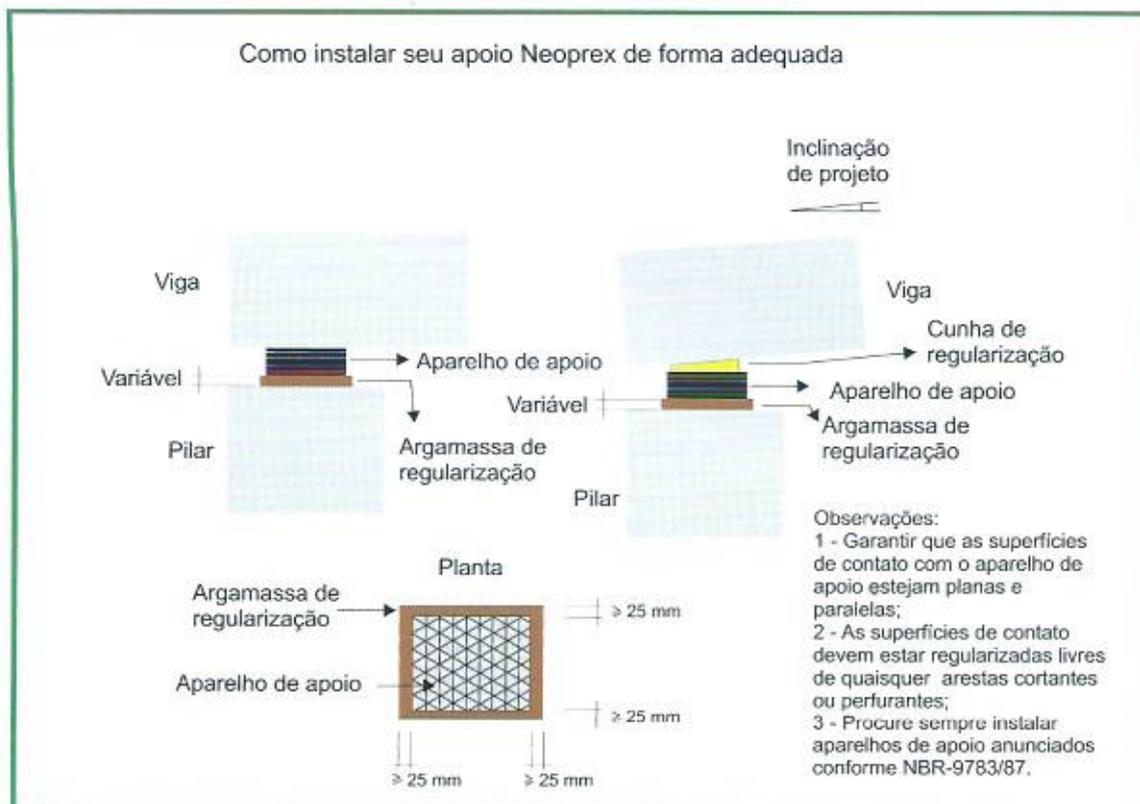
Bom, os apoios com mais de 20 anos são anteriores às atuais normas. A solicitação da estrutura aumentou, devido ao aumento da capacidade de carga dos caminhões.

Também a instalação dos apoios afeta a durabilidade, este ultimo fator merece

comentários. Não temos uma norma para instalação de apoios, mas sabemos de algumas situações que devem ser observadas. A total ausência de elementos puntiformes como pedras ou pontas de ferro nos substratos de contato com o apoio, a planicidade, horizontalidade e o paralelismo das superfícies de contato com o apoio. Estes pontos são importantes para que se garanta a distribuição uniforme de cargas no apoio.

Se pensarmos em uma viga com protensão, é fato que as cabeças da viga sofrem giro com a tensão dos cabos, isso deixa uma superfície plana, mas sem paralelismo e horizontalidade com o berço do apoio sobre o pilar ou a viga travessa, devemos pensar em uma cunha sobre o apoio para a garantia da distribuição uniforme de cargas. Fácil de se ver, mas muitas vezes vemos que faltam estes cuidados na instalação dos apoios.

Deixo abaixo um desenho simplista da situação ideal.



Hoje temos no Brasil apoios fabricados com 'abas', que já tem a inclinação correta de obra. Estas 'abas' são preenchidas com resinas e ou *grouts* e servem como correção da perda do paralelismo, planicidade e horizontalidade. Esta solução tem atendido bem em muitas obras. Temos orgulho em dizer que o Brasil exporta para toda América do Sul, América do Norte, África e parte da Europa; a Europa admite a utilização de borracha natural em seus apoios. Os Estados Unidos tem sido um bom cliente principalmente em apoios de grandes dimensões, acima de 1 m de planta, e também em obras especiais como a recuperação da ponte de Bronks, onde foi fornecido por empresa brasileira amortecedores de vibração.

Este fato demonstra que temos sim no Brasil tecnologia para desenvolver apoios especiais com deformações controladas e para grandes cargas.

Podemos estudar novas normas, inclusive para apoios metálicos que, infelizmente, não são ensaiados, e expandir nossa capacidade fabril e técnica.

O grande número de concessões no Brasil e principalmente em São Paulo exigiu dos fabricantes um controle total de sua fabricação, a tal ponto que assumiram garantias de 20 anos dos apoios, esta garantia pode ser dada devido à rigidez da norma brasileira para ensaios de apoios. O por falar em norma, deixo aqui aos amigos um convite: desenvolver a norma para apoios metálicos e também para instalação de apoios.

Gostaria de tomar a liberdade de agradecer a alguns engenheiros que de maneira solícita me ensinaram na prática o que hoje sei sobre o assunto. Abraços aos amigos Mario Vila Verde (saudosos), Catão F. Ribeiro, Walter Farinelli, Alberto Azevedo Ferrão, Ernani Dias, Mitsuo Iada, Caio S. Bastos, Fares Eduardo Assali, Osvaldo Fornazieri, Odilon Fernandes Costa e Dijalma Alvez Zimerer.

Desculpo-me aos que não citei e desejo a todos os amigos um 2006 repleto de construções. Lembrei dos amigos já que usei do muito que estes conhecem para apresentar esta simples matéria. ♦

# Estabilidade Lateral dos Edifícios em Lajes Planas Protendidas

Marcelo Silveira  
Denise Juca Silveira  
MD Engenheiros Associados

### 1 - Introdução

Os edifícios em lajes planas protendidas com cordoalhas engraxadas e plastificadas são projetados e construídos há cinquenta anos nos Estados Unidos. Aqui no Brasil, a técnica da protensão com cabos engraxados foi iniciada em 1997, sendo que anteriormente os edifícios eram executados com o sistema de cabos aderentes.

A introdução deste sistema de protensão leve, objetivando seu uso em larga escala em edifícios correntes, tira partido principalmente do uso de lajes planas sem vigas, ou pelo menos, com o mínimo de utilização das mesmas, retirando-se, quando possível, as de borda, inclusive (Fig. 1). Esta forma de projetar tem como objetivo simplificar sobremaneira a execução das fôrmas da estrutura, resultando em economia pelo fato de reduzir o consumo de material e de mão de obra na execução das mesmas. Facilita-se também a execução das armaduras e o lançamento do concreto, que na execução das vigas é mais demorado e dificultoso, devido às interferências das armaduras das próprias vigas com os pilares e, finalmente, na execução das vedações, sejam em alvenaria convencional, painéis pré-fabricados ou ainda nas vedações em gesso acartonado (dry-wall).

Esta concepção estrutural de lajes planas implica na mudança dos partidos estruturais normalmente adotados pelos projetistas acostumados a trabalhar com estruturas convencionais, onde se faz uso dos sistemas de lajes apoiadas em vigas, que por sua vez, se apóiam nos pilares, e que, por conseguinte, se formam inúmeros pórticos nas direções principais do edifício, contribuindo para a estabilidade às ações laterais.

Neste artigo, comentaremos quais os sistemas estruturais de contraventamento mais utilizados nos



Fig. 1 - Edifício de apartamentos residenciais em Fortaleza - CE

projetos com lajes planas protendidas. É importante salientar que a resposta às ações laterais das estruturas em lajes planas deverá ser eficiente, de forma a garantir o perfeito funcionamento da edificação, ou seja, os parâmetros de estabilidade costumeiramente utilizados nas verificações das estruturas com vigas aperticadas deverão ser mantidos (deformações limites no topo da edificação e parâmetro de estabilidade  $\gamma_z$ ).

## 2 - Modelagem Estrutural do Edifício

Antes do advento dos computadores pessoais de grande potência, os recursos que os projetistas dispunham para análise estrutural eram bastante limitados, de forma que o procedimento básico para a concepção das estruturas era dividir os pilares em dois grupos distintos: os pilares contraventados e os pilares (elementos) de contraventamento. Segundo Fusco (referência 3), os elementos de contraventamento são constituídos por pilares de grandes dimensões, por paredes estruturais, por treliças ou pórticos de grande rigidez, de forma a garantir a estabilidade da estrutura no seu conjunto, bem como resistir à ação do vento ou de sismo, conforme o caso, sobre toda a construção.

O grupo dos pilares contraventados são aqueles aos quais não são delegadas as funções de resistir às ações laterais.

Com esta concepção, as estruturas eram convenientemente calculadas dentro das disponibilidades de recursos computacionais existentes.

A evolução dos computadores pessoais e, conseqüentemente, o desenvolvimento dos softwares de cálculo estrutural disponíveis para micro-computadores possibilitaram aos projetistas trabalhar com modelos de estruturas mais complexas, de forma a não mais se preocupar com a divisão física entre pilares de contraventamento e pilares contraventados. Hoje em dia, os projetistas lançam as suas estruturas e aplicam as cargas (gravitacionais e ações laterais) às estruturas, e os programas tratam de calcular os esforços em todos os elementos estruturais, e a partir daí procedem ao dimensionamento de pilares, vigas, lajes, fundações, etc.

Surge então um problema que vários projetistas deixam passar sem a devida análise. Normalmente, os pilares que são adotados em edifícios correntes, sejam comerciais ou residenciais, são predominantemente retangulares. Assim, mesmo em estruturas comuns constituídas por sistema lajes-vigas-pilares, na direção onde se desenvolve a maior dimensão dos pilares formam-se os pórticos mais rígidos, enquanto

que nas direções de menor dimensões dos pilares, os pórticos têm pouca ou nenhuma rigidez que possa ajudar no contraventamento das estruturas. O fato é que, caso o projetista não estabeleça como critério para o seu programa de análise estrutural que não deva levar em conta toda a largura do pilar para o cálculo da rigidez que efetivamente colabora para impedir a rotação da viga, teremos momentos de engastamento viga-pilar exageradamente altos naquela direção considerada, sem, entretanto, isto corresponder à realidade. Assim, é necessário assumir o conceito de nós flexibilizados (ver referência 4), onde impõe-se uma dimensão máxima para a contribuição do pilar na composição do pórtico (normalmente como um múltiplo da largura da viga), naquelas vigas que se apóiam nos pilares na direção de menor de dimensão (Fig. 2).

Desta forma, é comum os projetistas atuais contarem com modelos mais rígidos que na realidade o são, caso não se projetem corretamente suas estruturas de contraventamento e deixem de levar em conta os critérios de flexibilização das ligações viga-pilar.

Pergunta-se, então: onde queremos chegar com o acima disposto?

A resposta é que os modelos estruturais devem ser convenientemente elaborados de forma a não distorcer resultados de análise ao serem considerados elementos com rigidez incompatível

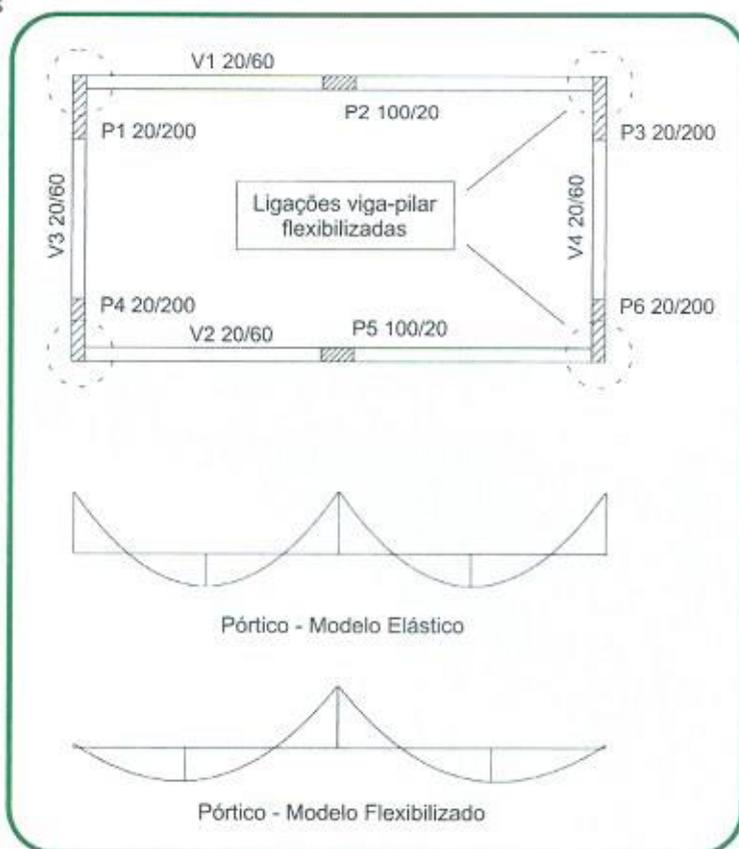


Fig. 2 - Diagrama esquemático de momento fletor na viga V1

com sua função dentro de uma estrutura. Os softwares não têm poder de decisão! A concepção estrutural é de competência exclusiva do projetista, cabendo a este adotar as hipóteses de cálculo corretas e informar ao programa de análise estrutural os critérios para a efetivação do cálculo estrutural. Como podemos ver, projetar uma estrutura composta pelo sistema vigapilar formando pórticos pode não ser critério determinante para a solução da sua estabilidade global.

Assim, projetar estruturas com lajes planas lisas (sem vigas) protendidas é perfeitamente viável e seguro, desde que o projetista tenha bem definidos os sistemas de contraventamento responsáveis pela estabilidade global da edificação compatíveis com este tipo de solução estrutural.

São três principais tipos de sistemas de contraventamento indicados para o uso nas estruturas compostas de lajes planas protendidas:

### 2.1 - Núcleos Rígidos

As estruturas podem ser contraventadas apenas por núcleos rígidos. Este sistema de contraventamento caracteriza-se pelo uso de caixas de elevadores e escadas com elementos em concreto. Assim, a estabilidade da estrutura no seu conjunto, bem como a resistência às ações laterais (vento e sismo) é, na sua quase totalidade, de responsabilidade destes elementos (Fig. 3).

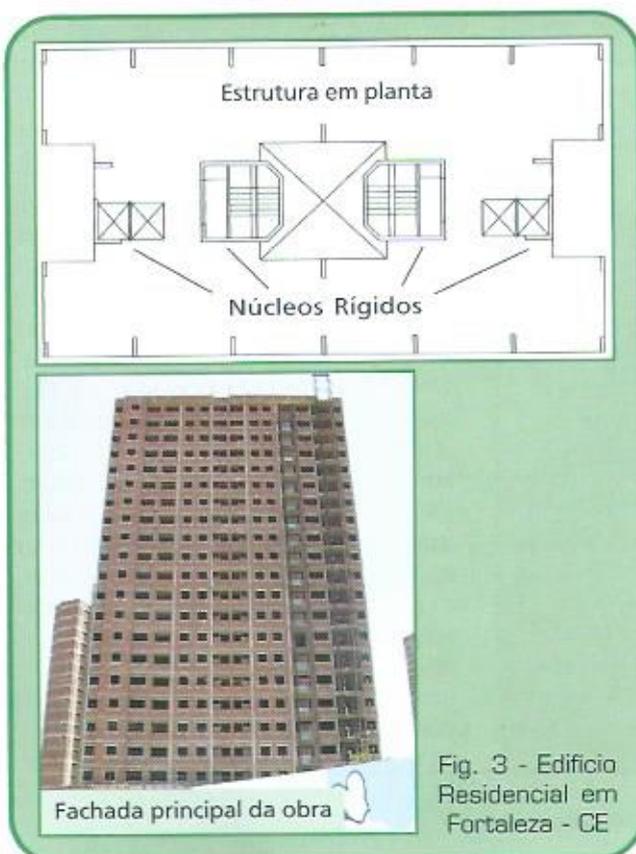


Fig. 3 - Edifício Residencial em Fortaleza - CE

### 2.2 - Núcleos Rígidos + Pórticos

Este sistema de contraventamento é constituído pela associação de núcleos rígidos e pórticos convenientemente posicionados na planta da estrutura (Fig. 4).

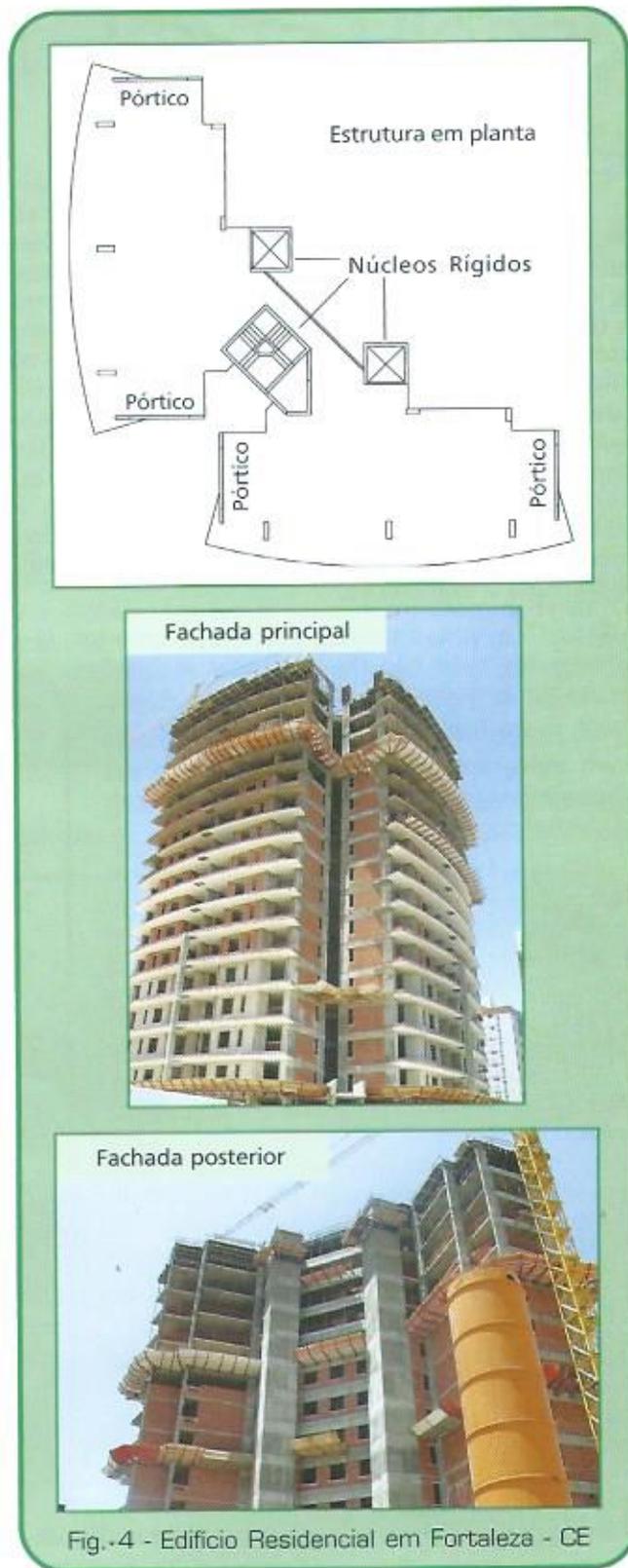


Fig.-4 - Edifício Residencial em Fortaleza - CE

## 2.3 - Núcleos Rígidos + Parades Estruturais

Este sistema de contraventamento consiste na associação de núcleos rígidos, que assim como nos dois primeiros casos são formados pelas caixas de escada e/ou elevadores, com paredes estruturais que normalmente são posicionadas nas paredes cegas das fachadas da edificação (Fig. 5). As paredes cegas podem ter, eventualmente, aberturas para janelas ou portas, mas que devem ser cuidadosamente analisadas e devidamente dispostas armaduras de reforços, pois via de regra aparecem tensões localizadas nos cantos destas aberturas.

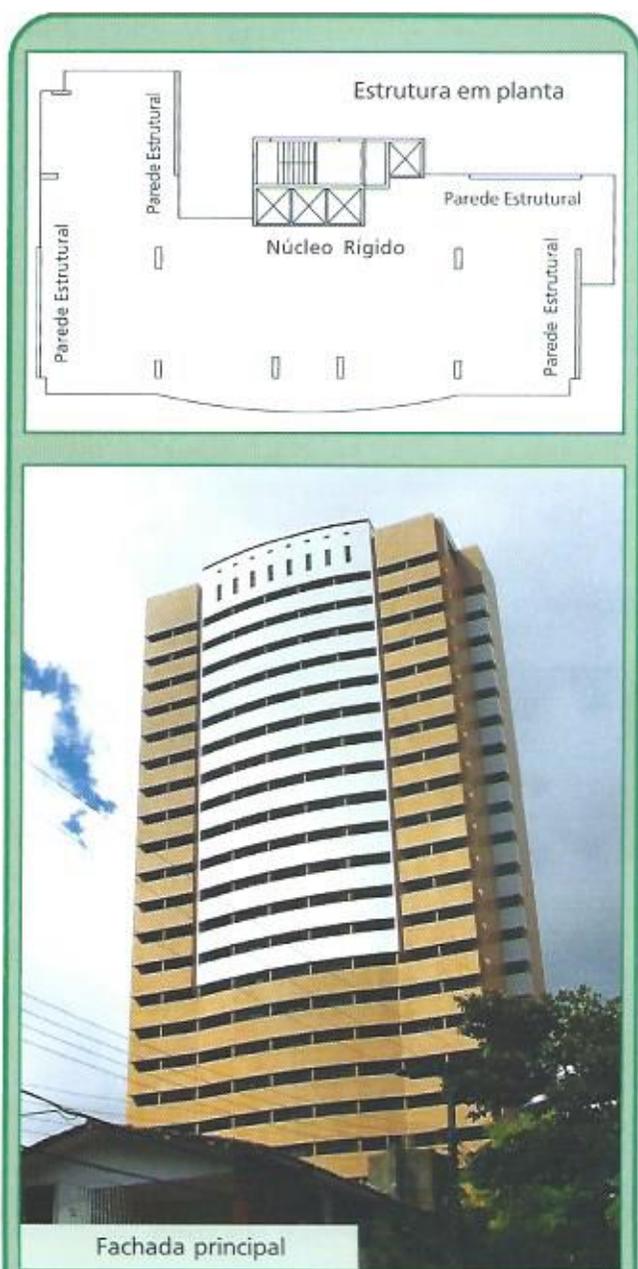


Fig. 5 - Edifício do Hotel Blue Tree em Fortaleza - CE

Deve-se, ainda, associar aos sistemas principais de contraventamento os pórticos de pequena rigidez formados pelas linhas de apoio usadas para o dimensionamento das lajes protendidas. Desta forma, leva-se em conta a rigidez à flexão das lajes protendidas, que são de espessura considerável (não menores que 16 cm, e, para os vãos mais econômicos que são acima de 7,0 m, assumem valores da ordem de 17 e 18 cm ou mais, de acordo com o vão e carregamento). Assim, para o sistema estrutural resistente às ações laterais, escolhe-se como largura efetiva da faixa que une os pilares que compõem uma linha de apoio, como sendo 50% da largura total desta (ver referência 2). Para melhor compreensão ver Fig. 6. Para o dimensionamento da laje, não deve-se equilibrar os momentos oriundos da ação do vento (ou sismo) com a protensão. A totalidade destes esforços deve ser absorvida por armaduras passivas convenientemente dimensionadas, considerando-se a inversão dos esforços devido à mudança de direção das ações horizontais, inclusive.

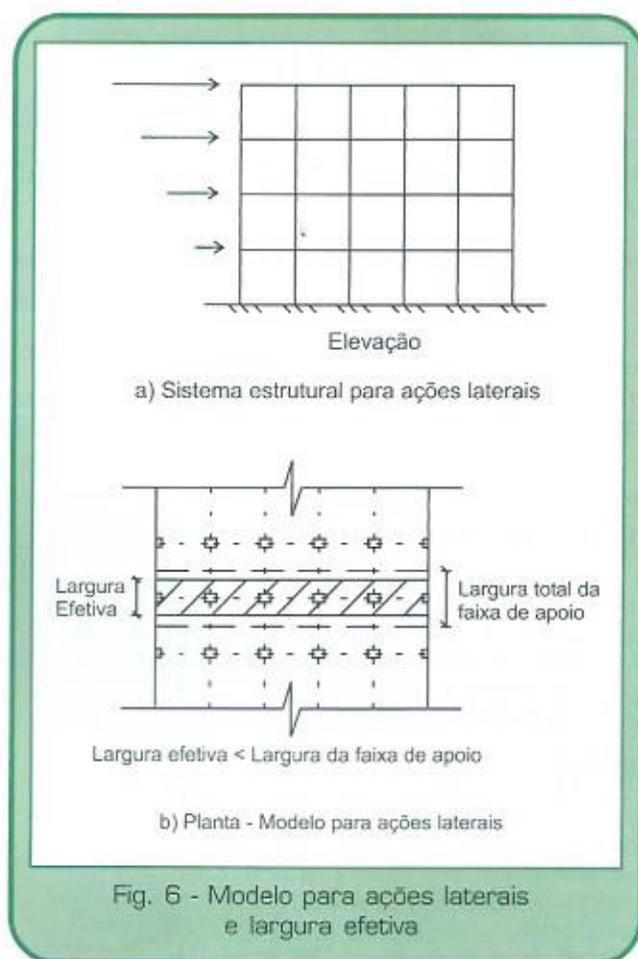
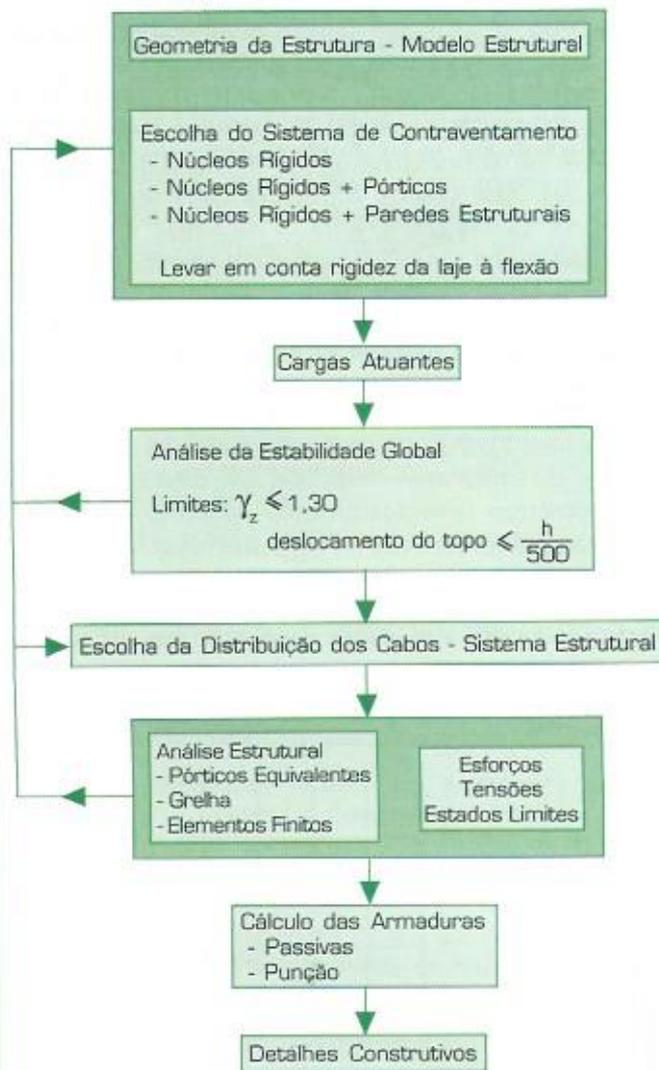


Fig. 6 - Modelo para ações laterais e largura efetiva

## 3 - Resumo de um projeto

Podemos resumir os passos a serem seguidos no projeto de um edifício em lajes planas protendidas, de acordo com o roteiro simplificado:



Os projetos em lajes planas protendidas devem ser concebidos usando o que a técnica dispõe de forma a resultar em produtividade e economia na execução das estruturas. Uma das maiores vantagens do sistema de lajes planas protendidas é a dispensa de vigas na solução de vãos arrojados, econômicos e seguros. Assim, os projetistas devem se preocupar com a correta utilização dos sistemas de contraventamentos associados à rigidez a flexão das lajes, que nos projetos de lajes planas protendidas são de espessura considerável. É claro que estruturas dotadas de poucos elementos rígidos de contraventamento não serão estáveis. Entretanto, através da boa técnica, da criatividade, e, contando com os recursos computacionais sofisticados hoje disponíveis para análise estrutural, os projetistas podem projetar estruturas econômicas, seguras, eficientes e bonitas utilizando lajes planas protendidas. ♦

#### Referências Bibliográficas

- 1 - Fuentes, A., "Edifícios Corrientes e de Gran Altura" - Editores Técnicos Associados, Barcelona, 1980
- 2 - Aalami, B. O., "Effective Width and Post-Tensioning" - PTI Technical Notes - Issue 1/April 1993
- 3 - Fusco, P. B. "Estruturas de Concreto - Solicitações Normais" - Editora Guanabara Dois - Rio de Janeiro - 1981
- 4 - Pórtico - TQS, Manual de Geração e Processamento de Pórticos Espaciais - TQS Informática Ltda. - 2002
- 5 - Hahn, J., "Vigas Contínuas, Pórticos, Placas y Vigas Flotantes sobre Terreno Elástico - Editorial Gustavo Gili - Barcelona - 1982
- 6 - Franco, M. e Vasconcelos A.C., "Practical Assesment of Second Order Effects in Tall Buildings"

## Chamada para entrega de resumos dos trabalhos técnicos

O envio do resumo e suas cópias, além da Ficha de Inscrição, deverá ser pelo Correio ou por e-mail

#### INFORMAÇÕES GERAIS

Toda correspondência relativa a trabalhos técnicos, bem como solicitação de esclarecimentos, deverá ser encaminhada à Comissão Técnica do evento:

IBRACON - Instituto Brasileiro do Concreto - CT MA

Av. Almeida Prado, 532 - Prédio 62, 1º andar - IPT  
CEP 05508-901 - Cidade Universitária - USP - SP

Telefax (011) 3714-2149  
Fone: (011) 3765-0099

E-mail: [office@ibracon.org.br](mailto:office@ibracon.org.br)  
Site: <http://www.ibracon.org.br>



#### VII SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL



- TEMA I  
Normalização e Gerenciamento de Resíduos
- TEMA II  
Resíduos Sólidos na Construção Civil
- TEMA III  
Desempenho dos Materiais Reciclados na Construção Civil
- TEMA IV  
Resíduos Sólidos e Meio Ambiente:  
Indústria, Mineração e Construção Civil

DATA LIMITE: 1 de março de 2005

#### APRESENTAÇÃO ESCRITA

O resumo deverá ter no máximo 250 palavras.  
A primeira página do trabalho deverá conter:

- Título do mesmo;
- Nome de autor(es), acompanhado de resumo curricular (máx. 5 linhas);
- Endereço Completo;
- Telefone/fax;
- E-mail.

Nos casos em que houver grande número de trabalhos de autoria de funcionários de uma mesma empresa ou entidade, recomenda-se a esta a indicação de um representante na empresa que centralize os contatos entre o CT MA e os autores, bem como a remessa à Comissão Técnica de listagem dos autores principais correlacionando-os aos seus trabalhos.

# Sobre a Utilização da Protensão no Alargamento de Obras de Arte

Daniel Lepikson, EGT Engenharia  
Flávio Rubin, especialista Centre de Hautes Études de la  
Construction - CHEC (Paris, França)

Abstract

## Resumo

O presente artigo tem por objetivo apresentar a solução de projeto concebida para a execução do alargamento em duas obras de arte distintas ao longo da Rodovia dos Bandeirantes, próximas à cidade de São Paulo - mais precisamente nos quilômetros 27 e 39 - visando-se a adequação da capacidade das mesmas às previsões de demanda de tráfego correspondentes ao final do período de concessão.

As particularidades enfrentadas na resolução do problema estrutural correspondente desafiam o engenheiro e a técnica, tendo-se em vista as necessidades de utilização da via e as condições de compatibilidade impostas relacionadas às obras existentes.

Nesse contexto, conforme relatado na seqüência, a utilização da protensão mostrou-se a alternativa técnica e economicamente mais atraente.

Procurou-se apresentar os principais aspectos relacionados à solução adotada, sem ater-se às particularidades inerentes aos procedimentos envolvidos no Cálculo Estrutural.

**Palavras-chave:** pontes em concreto, concreto protendido, cálculo estrutural.

The main purpose of this paper is to summarize the structural solution conceived for the widening of two existing bridges along Bandeirantes Highway, near São Paulo metropolitan area (precisely at kilometers 27 and 39), in order to increase its capacity in conformity with desired performance requirements, as predicted by traffic demand forecast studies comprising all the period of concession.

The solution of the corresponding structural problem is not quite straightforward, since there are some important topics and particularities to overcome in the design procedure regarding the execution phase - like the imposed compatibility conditions in the interface of the new part with the existing structure or the impossibility to interrupt the traffic during construction work - that would not be confronted in a new ordinary design.

In this context the use of prestressed concrete, as it turns out, arises as an extremely attractive solution, both considering the technical or the economical standpoint.

In what follows, it is emphasized the primordial characteristics of the structural scheme proposed, without going through all the corresponding details of the analysis procedures.

**Key words:** concrete bridges, prestressed concrete, structural analysis.

## 1 - Introdução

O Sistema Anhangüera-Bandeirantes, administrado pela **AutoBAN**<sup>1</sup>, atravessa uma das regiões economicamente mais ativas do Brasil. Este importante sistema viário é responsável pela ligação da capital de São Paulo com algumas das maiores cidades do interior paulista, entre as quais Jundiaí, Campinas, Americana e Limeira, desempenhando um

papel fundamental no transporte de produtos agrícolas e industriais, além de permitir o acesso a diversos pontos turísticos.

Com cerca de 316 km de extensão e um fluxo diário de 290 mil veículos em média, o sistema é composto no seu conjunto pela Rodovia Anhangüera (SP-330), Rodovia dos Bandeirantes (SP-348), Rodovia Dom Gabriel Paulino Bueno Couto (SP-300) - na região de Jundiaí - e a interligação Rodovia Adalberto Panzan (SPI-102/330), em Campinas.

<sup>1</sup> A **AutoBAN** é responsável, desde 1º de maio de 1998, pela administração do Sistema Anhangüera-Bandeirantes. A duração do Contrato de Concessão firmado com o Governo do Estado de São Paulo é de 20 anos (de 01/05/1998 a 30/04/2018). Os dados e informações contidos nesse item, bem como as ilustrações, foram retirados do site da empresa na Internet (no endereço <http://www.autoban.com.br>).

Inaugurada em 1978, a Rodovia dos Bandeirantes consagrou-se como uma das mais modernas rodovias do País, sendo hoje considerada uma referência em termos de engenharia rodoviária, responsável por mais da metade do volume diário de tráfego do Sistema Anhangüera-Bandeirantes. Concebida inicialmente para fazer a ligação entre São Paulo e Campinas, visando-se o alívio do tráfego da já saturada Via Anhangüera, a SP-348 chega hoje ao município de Cordeirópolis, na região de Limeira, após a conclusão de um novo trecho de 78 quilômetros.

Projetada como via expressa bloqueada, com acessos controlados, destina-se ao tráfego de longa distância, com velocidade de projeto fixada em 120 km/h. Com duas pistas de três faixas de tráfego cada de São Paulo até o trevo de Santa Bárbara d'Oeste, e com duas faixas de tráfego após esse trevo, possui canteiro central de 30 m de largura da Capital paulista até Campinas, e de 11 m nos 78 quilômetros do pro-

longamento. Ao longo da Bandeirantes, foram construídas 174 obras de arte, entre viadutos, pontes e passagens inferiores e superiores.

Desde o início do programa de concessão, a situação física e operacional do sistema rodoviário brasileiro adquiriu novos contornos, fato que levou à necessidade de intervenções frequentes no sistema (na realidade, uma

imposição contratual), através da execução de obras de ampliação, introdução de melhorias e modernização dos serviços fornecidos.

Com base em projeções e estudos de demanda prevista de tráfego elaborados pela AutoBAN, para um período que contempla desde o início até o final

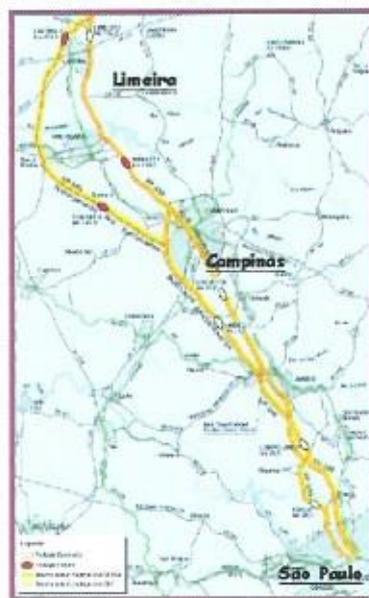
do prazo de concessão, foi detectada a necessidade de ampliação da rodovia, a qual requer a execução de mais duas faixas de tráfego adicionais.

De fato, constatou-se que já existe uma deficiência de capacidade de tráfego para a pista Sul, com as três faixas atuais (sentido Interior-Capital). As

previsões de demanda indicam ainda que o sistema se tornará saturado com apenas uma faixa adicional por volta de 2013, resultando em níveis de serviço inadequados bem antes do término do período de concessão.

Pelas razões citadas, optou-se pelo alargamento da rodovia com a construção das duas faixas adicionais re-

queridas, a ser executado em fases distintas e intermitentes, em conformidade com as previsões de demanda e demais conclusões obtidas a partir dos estudos elaborados.



## 2 - Descrição das Obras

Apresenta-se na seqüência uma breve descrição das principais características geométricas e estruturais referentes às obras selecionadas como objeto de estudo do presente trabalho, contemplando o projeto originalmente concebido e as modificações previstas na intervenção para o alargamento da rodovia.

### 2.1. - Principais características geométricas e estruturais das obras na configuração original

Ambos os viadutos dos km 27 e 39 (Passagens Inferiores) foram concebidos em seção multicelular de concreto<sup>2</sup> (três células), com tabuleiro contínuo de três vãos moldados "in loco", i.e. o sistema longitudinal é caracterizado como uma *viga contínua de três vãos*.

Conforme se pode observar na Figura 2.1.1, a qual mostra um corte longitudinal da obra do km 39, os apoios são constituídos pelos dois encontros (extremidades) e por pilares intermediários de inércia

<sup>2</sup> O km 27 foi concebido em concreto armado e o km 39 em protendido.

variável. As travessas dos encontros (apoios extremos) e os blocos de fundação dos pilares (apoios intermediários) são, por sua vez, suportados por tubulões (fundação profunda – dois tubulões nas travessas dos encontros, dois tubulões sob os blocos de fundação dos pilares).

A superestrutura apresenta transversinas intermediárias além das transversinas de apoio, de forma que a seção transversal resulta praticamente indeformável (ou seja, não há distorção apreciável). As longarinas estão assentadas em aparelhos de apoio de elastômero fretado, apoiados sobre as travessas dos encontros e na face superior dos pilares intermediários.

A título de ilustração, alguns dados específicos particulares de cada obra são apresentados a seguir na Tabela 2.1.1, de forma sucinta, para fins comparativos.

Nas Figuras 2.1.1 e 2.1.2, apresentam-se desenhos esquemáticos que ilustram o esquema estrutural longitudinal e a seção transversal da PI no km 39.

Tab. 2.1.1 - Principais características das obras em estudo.

Elemento	PI km 27	PI km 39
Altura da seção transversal (m)	1,50	2,00
Comprimento dos vãos Lateral / Central / Lateral (m)	19,0 / 23,0 / 19,0	29,0 / 38,0 / 29,0
Largura da obra (m)	16,20	16,20
Comprimento máximo do Pilar Intermediário (m)	10,55	9,50
Diâmetro $\phi$ dos tubulões Enc. / Ap. Intermed. (m)	1,20 / 1,20	1,20 / 1,20
Dimensões dos aparelhos de apoio intermed. $a \times b \times t$ (cm)	40 x 35 x 4,7	110 x 60 x 5,8
Resistência $f_{ck}$ do concreto Super / Meso / Infra (MPa)	18 / 18 / 15	24 / 18 / 15

Em ambos os casos, em conformidade com a norma vigente na ocasião do projeto<sup>3</sup>, as obras foram originalmente dimensionadas para resistir com segurança à passagem do trem-tipo normalizado TB-36 (Peso total = 360 kN, com 60 kN/roda), na situação mais desfavorável (i.e. que resulte em maiores esforços devidos às cargas variáveis). Cabe salientar que, na versão atual da referida norma (Abril/1994), deve-se projetar o alargamento para o trem-tipo TB-45 (Peso total do caminhão-tipo = 450 kN, com 75 kN/roda).

## 2.2 - Soluções adotadas para o alargamento da via

A fim de manter a estética e o comportamento estrutural das obras existentes, tanto no km 27 quanto no km 39, decidiu-se projetar o alargamento do tabuleiro com seção transversal formada por células com almas inclinadas, conforme pode ser observado na Figura 2.2.1.

Pela exigência do projeto em conceber a ampliação em duas fases distintas, cada etapa prevê uma célula adicional, resultando, quando da execução da segunda fase de alargamento, em uma seção transversal única formada pelo caixão existente com três células e duas células individuais adicionais unidas pela laje e pelas transversinas.

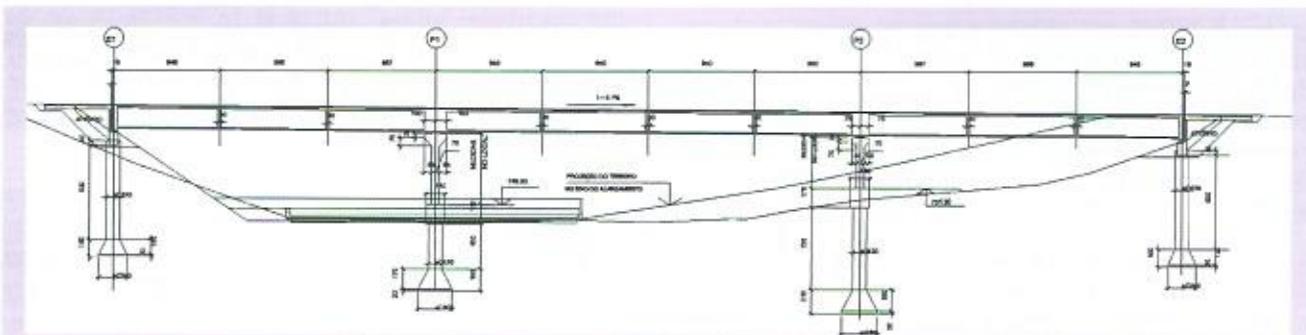


Fig. 2.1.1 - Passagem Inferior no km 39: Perfil Longitudinal.

<sup>3</sup> NBR-7188: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre – Procedimento.

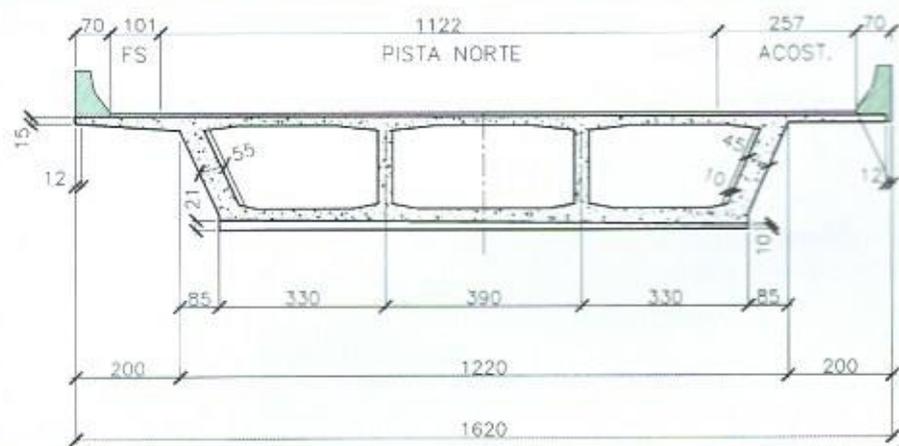


Fig. 2.1.2 - Passagem Inferior no km 39: Seção Transversal no vão de 38 m.

Na primeira fase de alargamento, inicialmente será demolido um trecho da laje existente juntamente com o guarda-rodas do lado a ser ampliado. Na obra do km 27 (vide Figura 2.2.1), o caixão formado por seção unicelular foi concebido em estrutura pré-moldada (1), protendido em canteiro. Executada a fundação e após o seu lançamento sobre calços provisórios (2), é montada a forma das novas transversinas, incluindo neste momento a passagem de bainhas e cabos de protensão e furação das estruturas existentes (3).

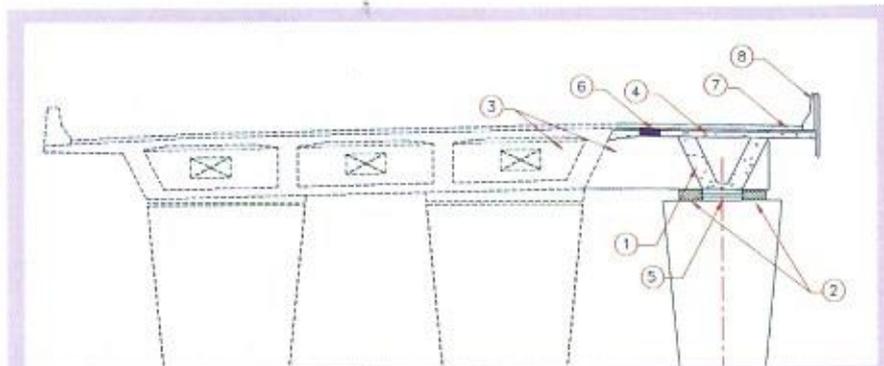


Fig. 2.2.1 - Método construtivo previsto para ampliação da PI no km 27 (primeira etapa).

A seguir, são lançadas as lajes pré-moldadas e colocadas as armaduras da capa (4). Concretam-se então a capa de concreto e as transversinas, tanto o trecho novo quanto o engrossamento ao redor das transversinas existentes (3). As transversinas de apoio são concretadas sobre os aparelhos de apoio definitivos (5).

Protende-se na seqüência os cabos das transversinas e os cabos negativos das longarinas. Após o término desta etapa, liga-se a laje da nova estrutura com a laje existente, através de concretagem *in-loco*

(6). Finalmente, restitui-se o pavimento no trecho ampliado (7) e instala-se o novo guarda-rodas pré-moldado (8).

No viaduto do km 39, as longarinas são concretadas *in-loco*, em suas posições definitivas, juntamente com a laje, transversinas intermediárias e a posterior ligação da estrutura nova com a existente. Em seguida, são protendidos os cabos das transversinas dos apoios intermediários e longarinas.

O método construtivo previsto para a segunda fase (i.e. a construção da 5ª. faixa) contempla essencialmente as mesmas etapas executivas anteriormente apresentadas.

### 3 - Critérios Gerais de Projeto e Detalhamento

Basicamente, o que norteou o projeto do alargamento em ambos os casos foi o requisito de se compensar as flechas devidas à ação do peso próprio com a protensão<sup>4</sup>. Isto se deve, em última análise, à necessidade de se evitar migração de carga do trecho novo para o trecho já executado (ou vice-versa), em razão de uma redistribuição de esforços que necessariamente ocorrerá, em virtude dos efeitos de deformação lenta do concreto (fluência e retração).

Note-se que o processo executivo é, via de regra, executado por fases, com todas as dificuldades inerentes de se solidarizar uma estrutura "velha" (onde já se manifestaram os efeitos de deformação lenta) a uma estrutura "nova" (para qual estes ainda estão por se manifestar). Há ainda o efeito complicador, no caso do km 27, de se solidarizar uma obra armada a outra protendida.

Em vista destas considerações, foi especificado no processo executivo que a protensão deverá ser executada anteriormente à ligação das duas obras (trecho existente - alargamento), de forma a mobilizar todo o efeito do peso próprio da estrutura nova nesta etapa, em conformidade com o critério acima estabelecido.

<sup>4</sup> A protensão foi dimensionada de forma a atender aos estados limites de serviço, fazendo-se eventuais ajustes no traçado dos cabos para se minimizar a flecha de peso próprio.

Após a execução da ligação, qualquer tendência de alteração da flecha do trecho recém-construído, em virtude dos efeitos da não-linearidade física do material *concreto*, seria parcialmente restringida pela obra existente, o que acarretaria em uma redistribuição de esforços, sobre-solicitando o trecho novo ou o existente (a depender de se ter *contra-flecha* ou *flecha* ao final da execução do trecho de alargamento, respectivamente<sup>5</sup>). Ora, o aumento de carga nas estruturas existentes é extremamente indesejável, uma vez que, além do efeito de redistribuição de carga de peso próprio não previsto inicialmente no cálculo original, estas foram dimensionadas para o trem-tipo 36 e atualmente se exige um desempenho satisfatório e com resistência adequada para a ação do trem-tipo 45. A eventual migração de carga para a estrutura nova, por sua vez, é uma alternativa de solução a ser evitada, uma vez que envolverá necessariamente uma análise estrutural mais complexa, quando comparada à solução efetivamente adotada, em decorrência dos efeitos da fluência e deformações diferidas no concreto.

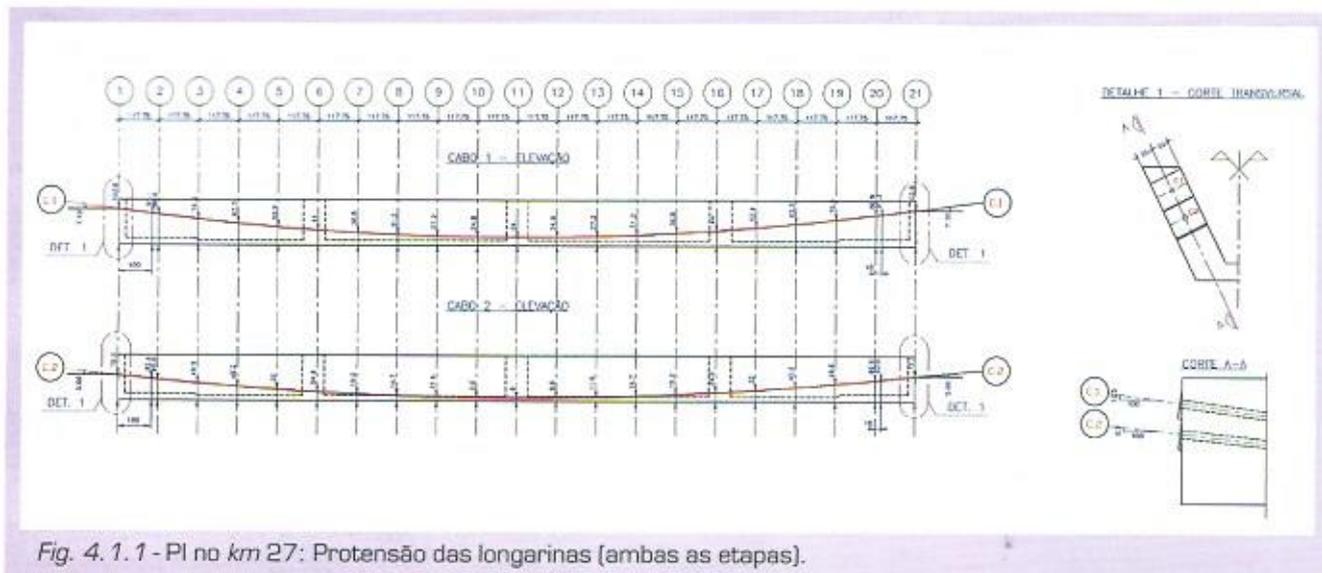


Fig. 4.1.1 - PI no km 27: Protensão das longarinas (ambas as etapas).

Por outro lado, se a flecha resultante do processo executivo for desprezível (anteriormente à ligação das obras), os efeitos da deformação lenta do concreto no trecho novo também o serão, de forma que esta migração de carga será minimizada. Salienta-se que o advento da protensão é nesse caso imprescindível, sem o qual o princípio básico que fundamenta a solução adotada não seria tecnicamente viável.

No dimensionamento da protensão, tornou-se necessário se estabelecer uma metodologia adequada (simples e suficientemente precisa) para a determinação da distribuição transversal do carregamento que solicita a estrutura posteriormente à execução da ligação entre as obras (cargas permanentes de pavimento e guarda-rodas e cargas variáveis), normalmente designado *efeito de grelha*. Para tanto, foi adotado um modelo de cálculo simplificado, o qual é baseado fundamentalmente nos modelos de distribuição transversal usualmente adotados<sup>6</sup>. Note-se que não se dispõe na literatura técnica de uma solução analítica previamente desenvolvida, a qual contemple a ligação entre duas obras pela laje superior e pelas transversinas (intermediárias e de apoio), tendo uma delas uma seção transversal multicelular e a outra uma seção unicelular.

Dimensionada a protensão para a fase mais crítica (contemplando-se tanto as etapas construtivas como a fase de operação das obras), partiu-se então para o seu detalhamento. Para tanto, há fatores importantes a se considerar, notadamente o necessário *faseamento* da obra - mais significativo para o projeto do km 27, uma vez que a estrutura de concreto é toda pré-moldada - e as limitações geométricas intrínsecas às dimensões limitadas do caixão novo ou as dificuldades de acesso devidas ao trecho existente (e em operação), para a execução da protensão especificada em projeto.

Desta forma, no detalhamento da protensão do km 27, teve-se de levar em conta o processo executivo previsto para a obra (conforme seqüência construtiva previamente comentada), de forma que as vigas são protendidas no canteiro de fabricação e os cabos negativos somente na etapa imediatamente anterior à ligação das obras nova-existente, após a concretagem da capa da laje. O uso de ancoragens intermediárias nas lajes torna-se, portanto, inevitável.

<sup>5</sup> *Contra-flecha* resultante, no presente caso, de um excesso de protensão, e não de uma alteração no *greide* da obra; a *flecha* decorrente de deficiência ou inexistência de protensão.

<sup>6</sup> No presente caso, utilizou-se o modelo transversal proposto originalmente por Fauchart [FAUCHART, J. "Béton Précontraint", CHEC, Paris, 1970].

No caso do km 39, uma vez que a obra é moldada "in loco", optou-se pelo lançamento de cabos contínuos com traçado parabólico de um extremo ao outro, atravessando os três vãos. Esta alternativa é de fato a mais indicada, posto que não há espaço para a execução de ancoragens intermediárias no caixão. Desta forma, além dos requisitos previamente estabelecidos, a protensão especificada deve ser calibrada de modo a atender a segurança tanto nas seções dos vãos como nos apoios (o que leva a se adotar um traçado longitudinal conveniente nas seções próximas ao meio dos vãos).

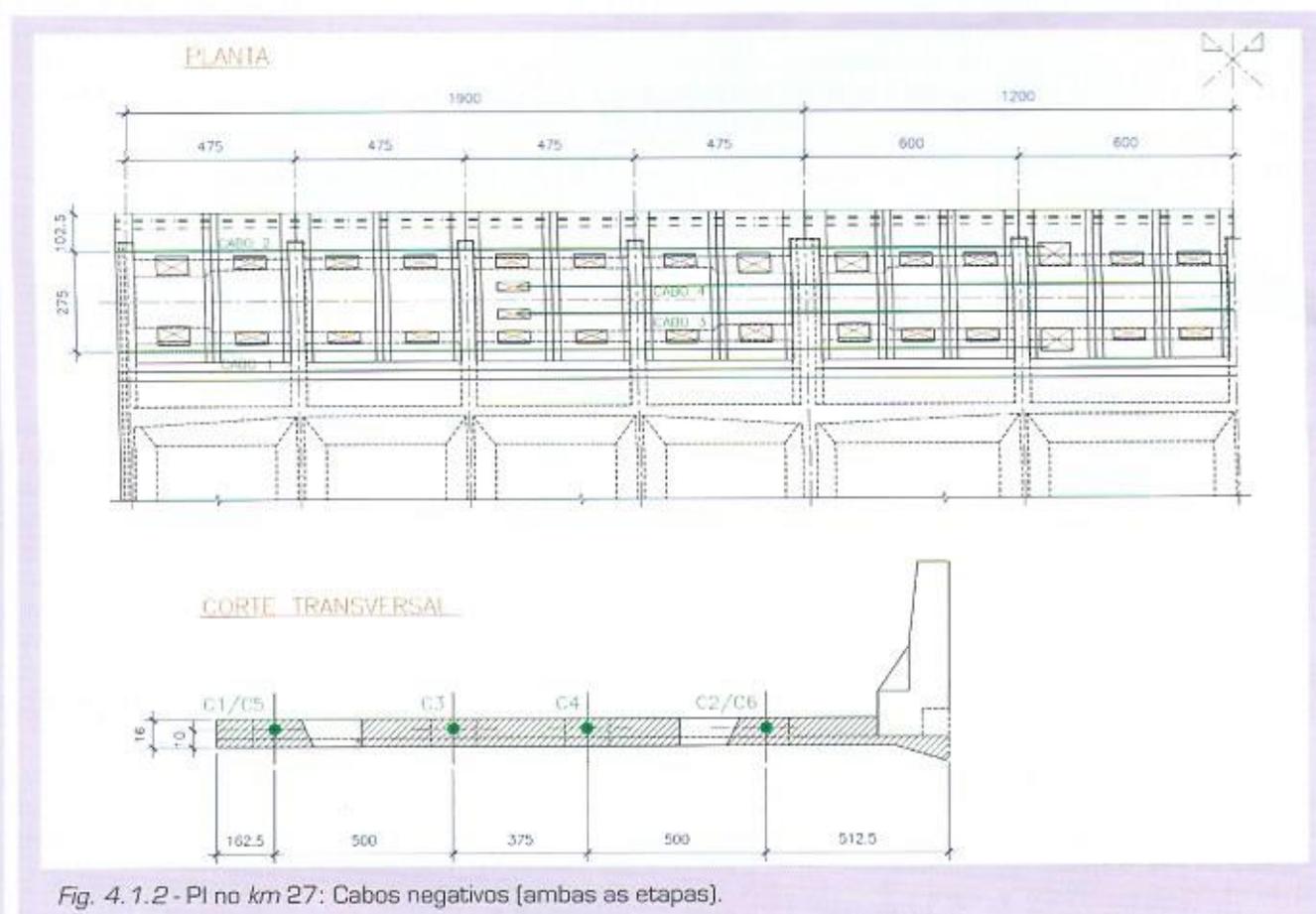


Fig. 4.1.2 - PI no km 27: Cabos negativos (ambas as etapas).

Em ambos os casos estudados, optou-se por ligar as obras também pelas transversinas (intermediárias e de apoio) com protensão ao longo do sentido transversal (quando possível), além do monolitismo proporcionado pela ligação constituída pela laje superior

Os aspectos mais importantes da solução concebida para a protensão são abordados com mais detalhes no próximo item, para ambas as obras.

## 4 - A Utilização da Protensão

### 4.1 - Obra do Km 27

A protensão das vigas longitudinais (longarinas) pode ser classificada em dois grupos distintos: os *cabos positivos*, protendidos em canteiro,

e os *negativos*, protendidos após o posicionamento adequado das lajes pré-moldadas na sua posição final.

Conforme mencionado anteriormente, a protensão longitudinal foi dimensionada de modo a minimizar a flecha devida ao peso próprio durante a etapa construtiva, além de atender às verificações referentes aos estados limites de *ruptura* e *utilização* na fase final. Respeitando-se a seqüência construtiva, a protensão requerida nas seções intermediárias (*cabos positivos*) foi verificada de forma a atender a segurança durante quatro fases distintas, a saber:

- ◆ *i.* Viga pré-moldada e protendida no canteiro - *Estrutura isostática*, sem cargas adicionais além do peso próprio da longarina;

- ◆ *ii.* Viga pré-moldada já posicionada sobre os apoios (pilares e encontros) - *Estrutura isostática*, suportando seu peso próprio e o peso da laje pré-moldada apoiada na sua parte superior, anteriormente à execução de uma ligação monolítica entre estes dois elementos; note-se que, nessa fase, a seção resistente é composta unicamente pela viga pré-moldada;

♦ *iii.* Ligação viga-laje pré-moldadas – *Estrutura isostática*, suportando o peso próprio atuante e uma eventual sobrecarga de obra no tabuleiro; note-se que agora a seção resistente corresponde a um caixão unicelular.

♦ *iv.* Obra em operação – *Estrutura hiperestática*, solicitada pelo peso do pavimento e do guarda-rodas (carga permanente aplicada na *grelha*, após a ligação das obras), gradiente de temperatura e carga variável proveniente do tráfego de veículos (simulada pela passagem do trem-tipo de norma TB-45); a seção resistente corresponde ao caixão unicelular.

A segunda fase mostrou-se ser a mais crítica no dimensionamento dos cabos positivos. Para as vigas dos vãos laterais, foram especificados dois cabos com 15 cordoalhas  $\phi 15,2\text{ mm}$  (um cabo por alma). Já para a viga do vão central (mais longo), utilizaram-se quatro cabos com 12 cordoalhas  $\phi 15,2\text{ mm}$  (dois cabos por alma). Em ambos os casos, o material especificado para as cordoalhas corresponde ao aço CP-190 RB (tensão limite de ruptura  $f_{pk} = 190\text{ kN/cm}^2$ , com baixa relaxação).

A determinação do traçado dos cabos positivos não apresenta maiores inconvenientes, conforme se pode constatar com base na Figura 4.1.1. De fato, uma vez que a quantidade adotada de cabos resultantes do detalhamento é pequena (dois cabos por alma, no máximo), torna-se relativamente simples alojá-los na seção transversal sem que ocorram problemas relativos a interferências. Da mesma forma, o detalhamento das ancoragens resulta igualmente simples, de modo a se respeitar as prescrições estabelecidas em normas (distâncias mínimas entre cabos, raios de curvatura mínimos adequados, cobrimentos, interferências, etc.).

Já os cabos negativos foram dimensionados para a obra na fase de operação. Os esforços solicitantes para esta etapa são aqueles descritos na *Fase (iv)* acima identificada.

Assim procedendo, resultou do dimensionamento a especificação de quatro cabos com 6 cordoalhas  $\phi 5,2\text{ mm}$ , (aço CP-190 RB), cujo traçado pode ser observado na Figura 4.1.2. Convém salientar que as bainhas que envolvem as cordoalhas, devido a pequena espessura da laje pré-moldada, devem ter a seção transversal achatada. Foi necessário ainda prever neste caso aberturas nas lajes pré-moldadas para possibilitar a inserção de acessórios adequados, de forma a permitir a instalação dos macacos de protensão. O comprimento dos cabos foi estudado de tal maneira a resistir à envoltória de esforços solicitantes (momentos negativos) decorrentes das cargas acima mencionadas, cujos valores mais críticos ocorrem necessariamente nas proximidades dos apoios. Não há, portanto, necessidade de estender todos os cabos ao longo de todo o comprimento da obra.

No que concerne a protensão transversal, somente as *transversinas de vão* foram projetadas em concreto protendido. As *transversinas de apoio*, tanto nos encontros como nos pilares intermediários, foram concebidas em concreto armado, uma vez que a disposição das ancoragens dos cabos positivos nas extremidades das vigas longitudinais inviabilizou a passagem dos cabos transversais nesta região, além das inevitáveis dificuldades de acesso para a operação de protensão destes últimos.

Esta interferência ainda influenciou no traçado dos cabos nas transversinas de vão, o qual foi concebido de modo a se desviar dos pontos de passagem dos cabos positivos das longarinas, bem como das aberturas de acesso ao caixão na estrutura existente, conforme se constata na Figura 4.1.3.

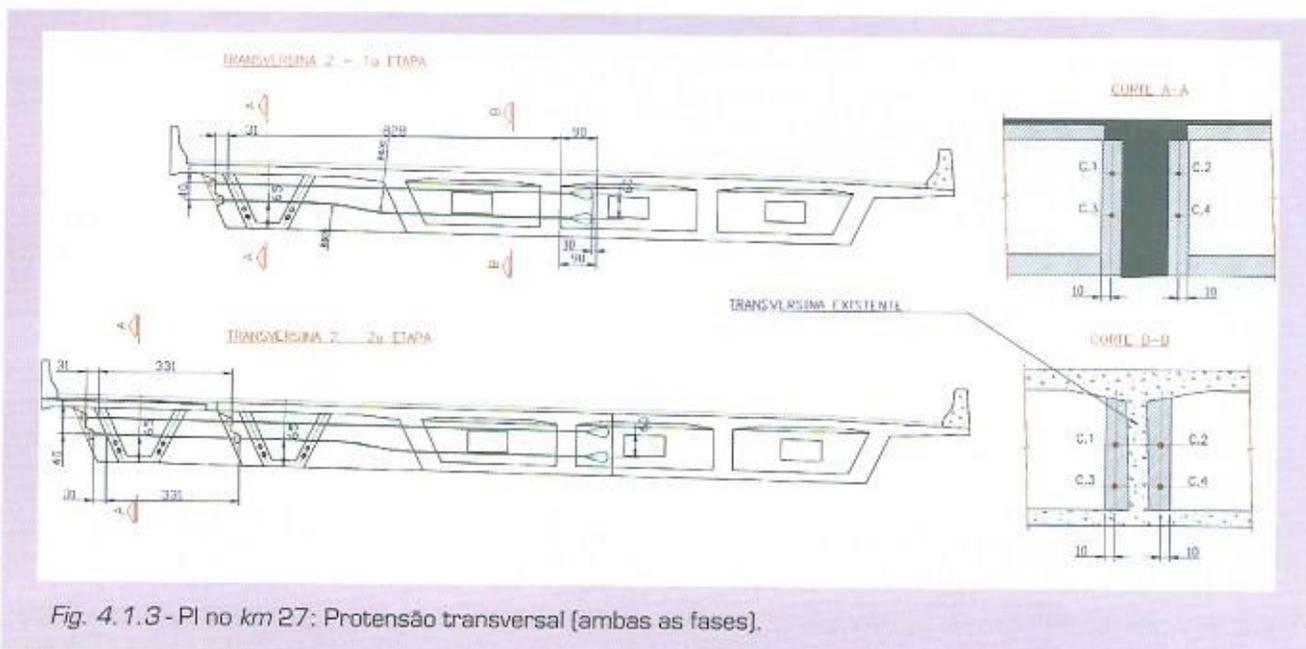


Fig. 4.1.3 - PI no km 27: Protensão transversal (ambas as fases).

No caso do km 39, uma vez que a obra é moldada "in loco", optou-se pelo lançamento de cabos contínuos com traçado parabólico de um extremo ao outro, atravessando os três vãos. Esta alternativa é de fato a mais indicada, posto que não há espaço para a execução de ancoragens intermediárias no caixão. Desta forma, além dos requisitos previamente estabelecidos, a protensão especificada deve ser calibrada de modo a atender a segurança tanto nas seções dos vãos como nos apoios (o que leva a se adotar um traçado longitudinal conveniente nas seções próximas ao meio dos vãos).

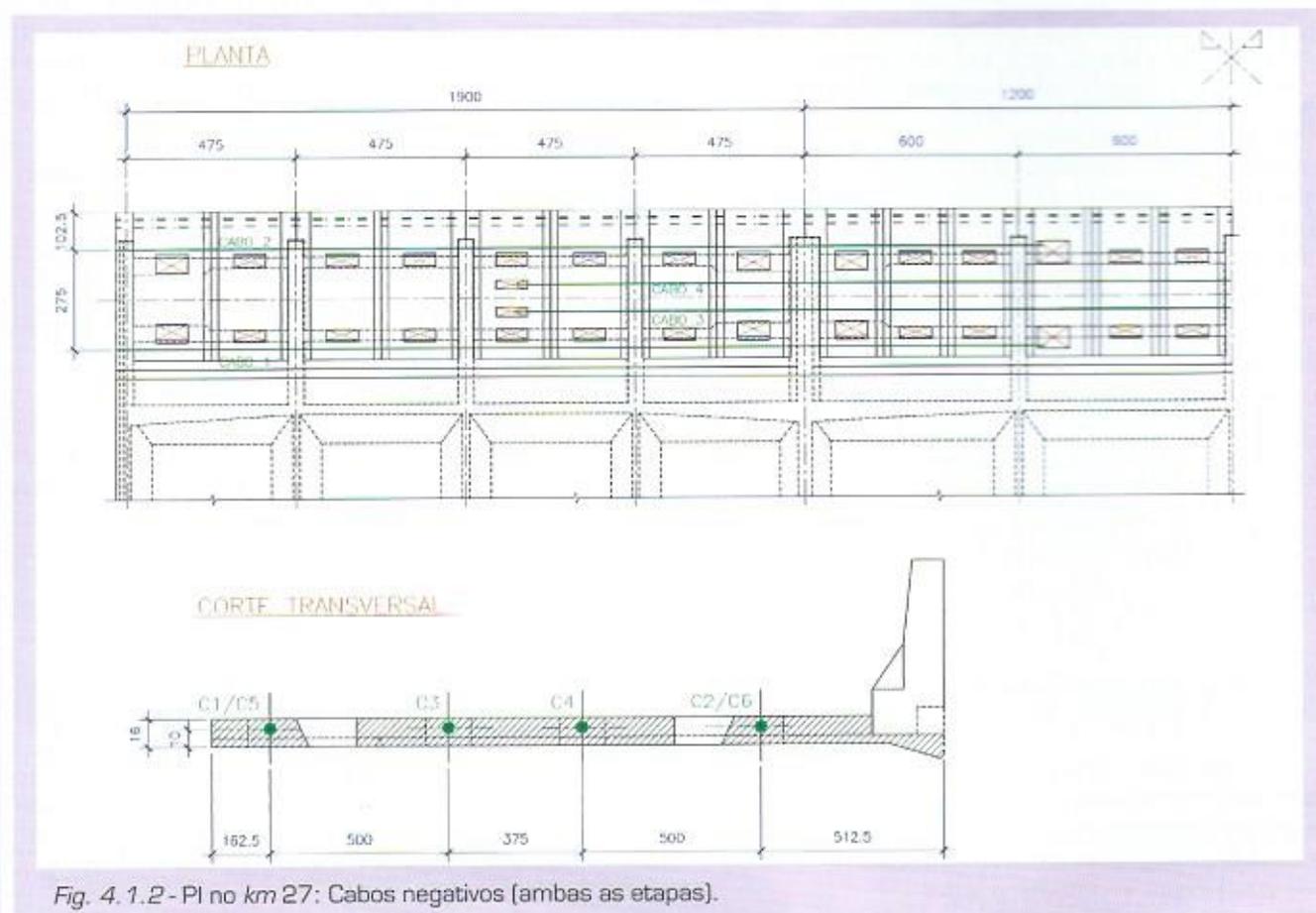


Fig. 4.1.2 - PI no km 27: Cabos negativos (ambas as etapas).

Em ambos os casos estudados, optou-se por ligar as obras também pelas transversinas (intermediárias e de apoio) com protensão ao longo do sentido transversal (quando possível), além do monolitismo proporcionado pela ligação constituída pela laje superior

Os aspectos mais importantes da solução concebida para a protensão são abordados com mais detalhes no próximo item, para ambas as obras.

## 4 - A Utilização da Protensão

### 4.1 - Obra do Km 27

A protensão das vigas longitudinais (longarinas) pode ser classificada em dois grupos distintos: os *cabos positivos*, protendidos em canteiro,

e os *negativos*, protendidos após o posicionamento adequado das lajes pré-moldadas na sua posição final.

Conforme mencionado anteriormente, a protensão longitudinal foi dimensionada de modo a minimizar a flecha devida ao peso próprio durante a etapa construtiva, além de atender às verificações referentes aos estados limites de *ruptura* e *utilização* na fase final. Respeitando-se a seqüência construtiva, a protensão requerida nas seções intermediárias (*cabos positivos*) foi verificada de forma a atender a segurança durante quatro fases distintas, a saber:

- ◆ *i.* Viga pré-moldada e protendida no canteiro - *Estrutura isostática*, sem cargas adicionais além do peso próprio da longarina;

- ◆ *ii.* Viga pré-moldada já posicionada sobre os apoios (pilares e encontros) - *Estrutura isostática*, suportando seu peso próprio e o peso da laje pré-moldada apoiada na sua parte superior, anteriormente à execução de uma ligação monolítica entre estes dois elementos; note-se que, nessa fase, a seção resistente é composta unicamente pela viga pré-moldada;

◆ *iii. Ligação viga-laje pré-moldadas – Estrutura isostática*, suportando o peso próprio atuante e uma eventual sobrecarga de obra no tabuleiro; note-se que agora a seção resistente corresponde a um caixão unicelular.

◆ *iv. Obra em operação – Estrutura hiperestática*, solicitada pelo peso do pavimento e do guarda-rodas (carga permanente aplicada na grelha, após a ligação das obras), gradiente de temperatura e carga variável proveniente do tráfego de veículos (simulada pela passagem do trem-tipo de norma TB-45); a seção resistente corresponde ao caixão unicelular.

A segunda fase mostrou-se ser a mais crítica no dimensionamento dos cabos positivos. Para as vigas dos vãos laterais, foram especificados dois cabos com 15 cordoalhas  $\phi 15,2\text{ mm}$  (um cabo por alma). Já para a viga do vão central (mais longo), utilizaram-se quatro cabos com 12 cordoalhas  $\phi 15,2\text{ mm}$  (dois cabos por alma). Em ambos os casos, o material especificado para as cordoalhas corresponde ao aço CP-190 RB (tensão limite de ruptura  $f_{ptk} = 190\text{ kN/cm}^2$ , com baixa relaxação).

A determinação do traçado dos cabos positivos não apresenta maiores inconvenientes, conforme se pode constatar com base na Figura 4.1.1. De fato, uma vez que a quantidade adotada de cabos resultantes do detalhamento é pequena (dois cabos por alma, no máximo), torna-se relativamente simples alojá-los na seção transversal sem que ocorram problemas relativos a interferências. Da mesma forma, o detalhamento das ancoragens resulta igualmente simples, de modo a se respeitar as prescrições estabelecidas em normas (distâncias mínimas entre cabos, raios de curvatura mínimos adequados, cobrimentos, interferências, etc.).

Já os cabos negativos foram dimensionados para a obra na fase de operação. Os esforços solicitantes para esta etapa são aqueles descritos na Fase (iv) acima identificada.

Assim procedendo, resultou do dimensionamento a especificação de quatro cabos com 6 cordoalhas  $\phi 5,2\text{ mm}$ , (aço CP-190 RB), cujo traçado pode ser observado na Figura 4.1.2. Convém salientar que as bainhas que envolvem as cordoalhas, devido a pequena espessura da laje pré-moldada, devem ter a seção transversal achatada. Foi necessário ainda prever neste caso aberturas nas lajes pré-moldadas para possibilitar a inserção de acessórios adequados, de forma a permitir a instalação dos macacos de protensão. O comprimento dos cabos foi estudado de tal maneira a resistir à envoltória de esforços solicitantes (momentos negativos) decorrentes das cargas acima mencionadas, cujos valores mais críticos ocorrem necessariamente nas proximidades dos apoios. Não há, portanto, necessidade de estender todos os cabos ao longo de todo o comprimento da obra.

No que concerne a protensão transversal, somente as *transversinas de vão* foram projetadas em concreto protendido. As *transversinas de apoio*, tanto nos encontros como nos pilares intermediários, foram concebidas em concreto armado, uma vez que a disposição das ancoragens dos cabos positivos nas extremidades das vigas longitudinais inviabilizou a passagem dos cabos transversais nesta região, além das inevitáveis dificuldades de acesso para a operação de protensão destes últimos.

Esta interferência ainda influenciou no traçado dos cabos nas transversinas de vão, o qual foi concebido de modo a se desviar dos pontos de passagem dos cabos positivos das longarinas, bem como das aberturas de acesso ao caixão na estrutura existente, conforme se constata na Figura 4.1.3.

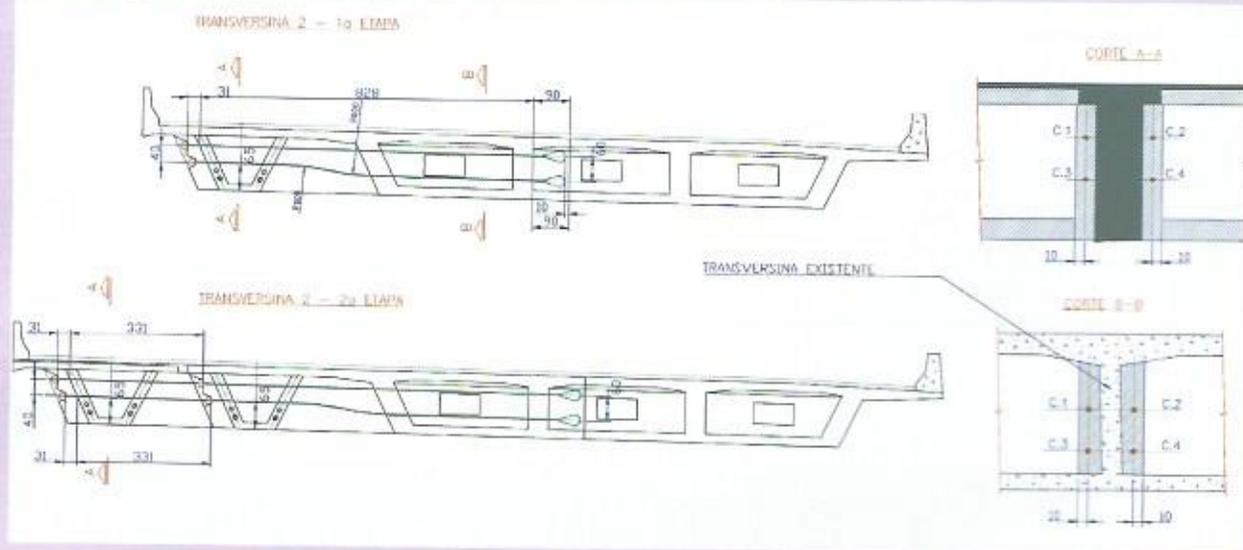


Fig. 4.1.3 - PI no km 27: Protensão transversal (ambas as fases).

Pelas razões expostas, conclui-se que o posicionamento dos cabos na seção transversal foi praticamente imposto por critérios geométricos, respeitando-se ainda os raios de curvatura mínimos estabelecidos em norma. Para alojá-los ao longo do trecho da obra existente, foi necessário engrossar a alma das transversinas correspondentes, criando-se um envelope de concreto em torno das mesmas.

O dimensionamento da protensão resultou na especificação de quatro cabos com 3 cordoalhas  $\phi 12,7 \text{ mm}$  (CP-190 RB), cujo traçado se estende até o final da primeira célula da viga existente. Por se tratarem de cabos curtos, estes são protendidos por uma extremidade somente<sup>7</sup>, prevendo-se *ancoragens passivas em laço* no extremo correspondente ao lado da obra existente. Na extremidade oposta (lado do alargamento), foram previstas *ancoragens ativas de emenda* para a primeira fase, possibilitando assim a ampliação da obra em uma segunda etapa, a ser executada a posteriori (vide Figura 4.1.3).

## 4.2 - Obra do Km 39

A diferença primordial no procedimento utilizado para o dimensionamento da protensão da obra do km 39 em relação àquele adotado no km 27 decorre do fato da superestrutura nesse caso ser moldada "in loco" (vigas longitudinais, lajes e transversinas). Isto significa que a protensão deve ser aplicada após a concretagem destes elementos sobre cimbramento já na sua posição definitiva, não existindo, como na obra anterior, atuação dos cabos em fase isostática.

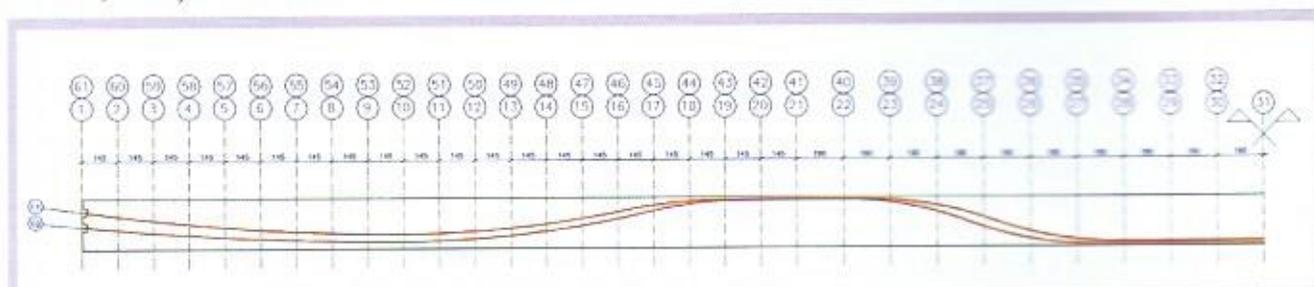


Fig. 4.2.1 - PI no km 39: Protensão longitudinal (ambas as fases).

O critério de minimizar a flecha devida à carga de peso próprio que solicita a viga longitudinal foi também mantido neste caso, pelas mesmas razões anteriormente discutidas. Deste dimensionamento resultaram quatro cabos com 10 cordoalhas  $\phi 15,2 \text{ mm}$  em aço CP 190 RB, cujo traçado está representado na Figura 4.2.1.

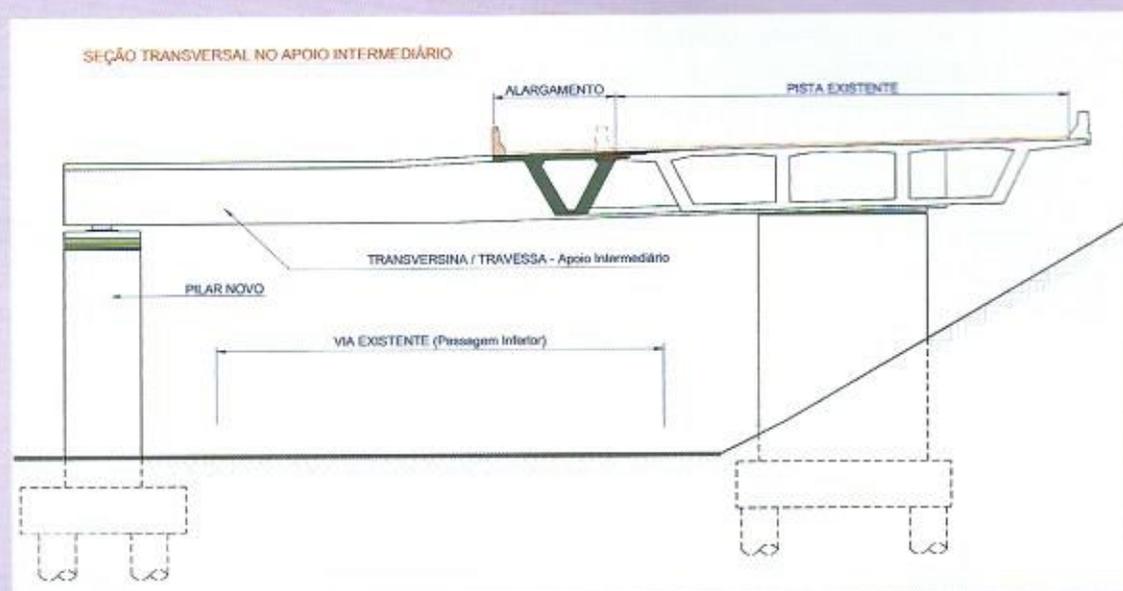


Fig. 4.2.2 - PI no km 39: Solução proposta para evitar interferência com a via inferior.

<sup>7</sup> Evitam-se assim perdas significativas devidas à operação de encunhamento; note-se que as perdas por atrito são menos importantes em cabos curtos.

Pré-dimensionada a protensão necessária, foram verificadas posteriormente as tensões nas longarinas para a envoltória de esforços envolvendo combinações que contemplam, além do peso próprio da super, as demais solicitações provenientes das cargas permanentes de pavimento e guarda-rodas, cargas móveis (TB-45) e gradiente térmico, similarmente às verificações efetuadas na obra do km 27.

Com relação às transversinas, somente aquelas situadas nos apoios intermediários foram concebidas em concreto protendido. Isto se deve ao fato de que, nesta obra em particular, além de trabalhar como diafragma transversal, as transversinas dos apoios intermediários tiveram também a função de travessas de apoio indireto para as vigas longitudinais. Tal solução se mostrou necessária em virtude da necessidade de se deslocar lateralmente os pilares nos apoios intermediários (no sentido do alargamento), visando-se assim evitar interferências dos mesmos com

uma via inferior, o que resultou no prolongamento destas transversinas (ou travessas), conforme ilustrado na Figura 4.2.2.

O dimensionamento das transversinas de apoio difere um pouco, portanto, daquele efetuado para os elementos correspondentes na obra do km 27. De fato, neste caso, estas transversinas trabalham como travessas de apoio, sendo dimensionadas como tal. Já no km 27, o dimensionamento das transversinas decorre do modelo de distribuição transversal. Obteve-se deste cálculo a especificação de quatro cabos com 19 cordoalhas  $\phi$  15,2 mm em aço CP-190 RB para a fase crítica de operação, cujo traçado é apresentado na Figura 4.2.3.

Conforme pode ser observado no traçado representado na Figura 4.2.3, os cabos foram prolongados até o fim da segunda célula da viga-caixão existente, sendo protendidos pela extremidade do trecho alargado (eixo 20 na Figura 4.2.3).

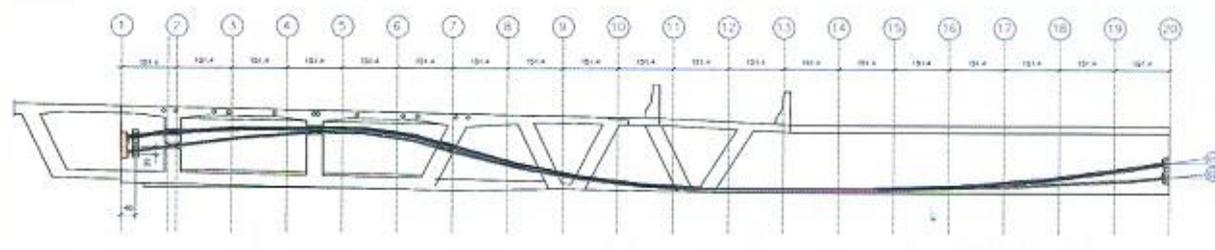


Fig. 4.2.3 - PI no km 39: Protensão transversal.

## 5 - Comentários Finais

O presente artigo aborda a solução de projeto adotada para viabilizar o alargamento de um trecho ao longo da Rodovia dos Bandeirantes, próximo à capital do Estado, buscando-se assim a adequação da capacidade da mesma para as previsões de demanda de tráfego correspondentes ao final do período de concessão.

Como premissa básica de projeto, a solução proposta deve necessariamente evitar qualquer migração de carga para a estrutura existente, uma vez que as obras originais correspondentes à época da construção da rodovia foram projetadas para uma capacidade inferior àquela requerida atualmente, especificada na norma vigente de ações variáveis em pontes e viadutos. A realização de reforços estruturais nas obras existentes é extremamente custosa e de difícil execução, de modo que tal alternativa deve ser evitada.

É sabido, no entanto, que há alguns inconvenientes do ponto de vista estrutural em se unir uma obra antiga a outra recém-inaugurada, em virtude

do comportamento não-linear do concreto. De fato, uma vez que estas terão comportamentos reológicos necessariamente distintos, isto acarretará, em última análise, a indesejável redistribuição de solicitações se nenhuma ação corretiva for adotada no sentido de se anular tal efeito.

Nesse contexto, a utilização da protensão para a compensação das flechas de peso próprio da estrutura (a parcela do carregamento que sofrerá os efeitos da deformação lenta) se apresenta na verdade não somente como uma alternativa de projeto técnica e economicamente viável, mas configura de fato a *solução mais adequada* a ser adotada de modo a se respeitar as premissas básicas previamente estabelecidas, além de atender satisfatoriamente as necessidades do cliente.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a contribuição dos engenheiros Kalil José Skaf e Marcelo Waimberg, da EGT Engenharia, responsáveis pela coordenação do projeto, cuja orientação técnica foi fundamental para a realização do projeto e, conseqüentemente, deste trabalho. ♦



## III Seminário Nacional de Pré-Fabricados de Concreto

**Porque conhecimento é o alicerce do sucesso.**

Tendências, tecnologia, cases, conceitos inovadores. A ABCIC preparou a base para você conhecer em primeira mão as novidades do setor. Um encontro que acontece na FEICON, reunindo palestrantes do Brasil e exterior. Um time disposto a dividir experiências concretas, para você aplicar nas suas atividades. Quer saber mais e ampliar relacionamentos? Então participe. E construa seu sucesso.

**Agende-se**  
4 e 5 de Abril/06  
9h00 às 17h00  
FEICON  
Anhembi - SP/SP

### Informações e Inscrições

(11) 3763-2839 - [www.abcic.com.br](http://www.abcic.com.br)

Apoio

Patrocínio

Organização



Associação  
Brasileira de  
Cimento Portland



## Pisos Protendidos de 2.000 m<sup>2</sup> - Concretagem Única, sem Nenhuma Junta

A Gymcol Brasil Adesivos, de Valinhos, SP, queria um piso sem juntas, de forma a eliminar as paradas da fábrica para manutenção das mesmas, coisa que ocorria com frequência em suas antigas instalações. A nova obra consistiu de cinco galpões isolados, cada um medindo 25m x 80m. Cada piso deveria ser concretado de uma só vez e protendido a tenra idade, para eliminar o aparecimento de fissuras de retração.

As cargas consideradas foram:

- Distribuída: 7,0 ton/m<sup>2</sup>
- Linear: 2,5 ton/m
- Carga móvel: 6,0 ton/eixo (empilhadeira de roda rígida de Celeron)
- Carga móvel: 8,0 ton/eixo (caminhão truck - 2,0 ton/roda)
- Porta-palleta: 4,0 ton/pé (pallets de 4 pés, espaçados de 0,9m x 0,3m x 0,9m)
- Porta-pallets: 7,0 ton/pé (pés isolados, c/ espaçamento mínimo de 1,0m entre pés)



Foi dimensionado piso com 13cm de espessura, com cordoalhas para protensão engraxadas e plastificadas, nas duas direções, com 35 cordoalhas longitudinais e 90 cordoalhas transversais, centradas e tracionadas com 15 ton cada uma.

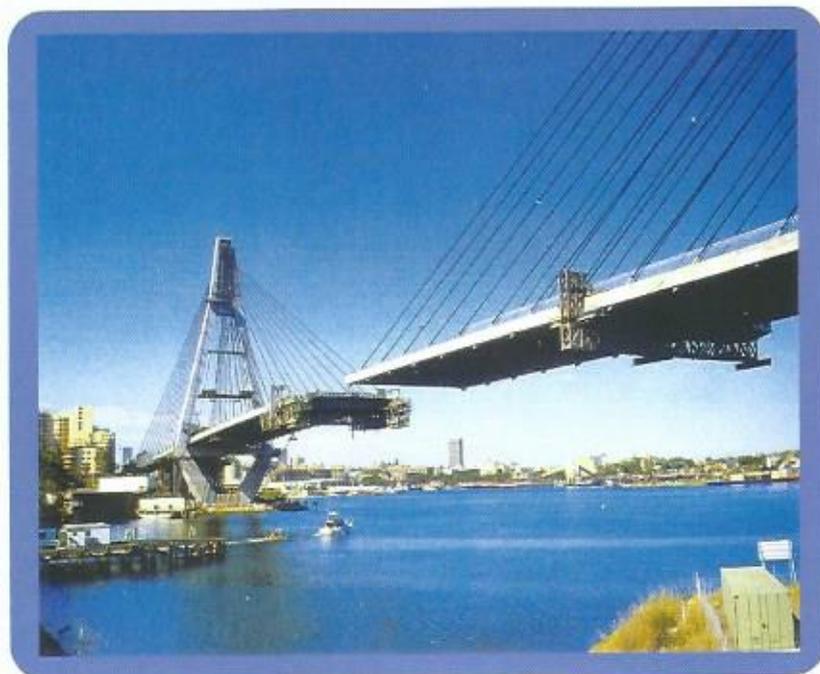
Cada piso foi concretado das 8:00h às 20:00h, tendo sido aplicada pré-carga de protensão (20%) em todos os cabos 10 horas após o último lançamento de concreto. O acabamento foi liso-espelhado tendo sido projetados FF  $\geq$  40/35 e FL  $\geq$  30/25, e conseguidos FF  $>$  50 e FL  $>$  35.

O inusitado foi a concretagem dos 2.000 m<sup>2</sup> de piso de uma só vez, sem juntas de qualquer tipo, fossem serradas ou de construção.



Concreteira - Jofege Itatiba  
Executor do piso - Engenharia de Pisos  
Ensaio Tecnológico - Concreteste Campinas  
Terraplanagem - Ceca Terraplanagem  
Execução da Protensão - Fernandes Engenharia

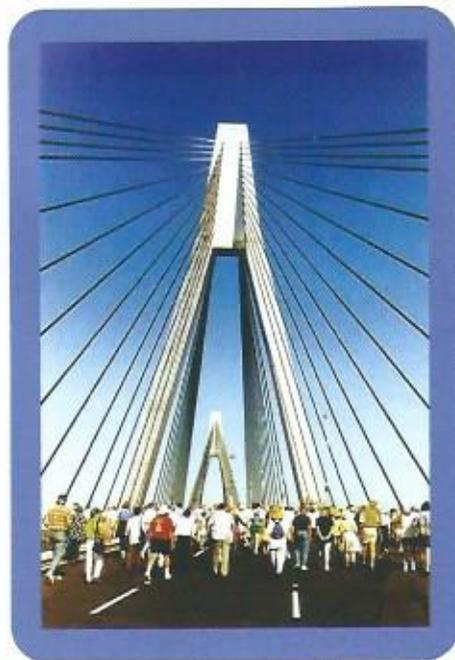
# ANZAC Bridge



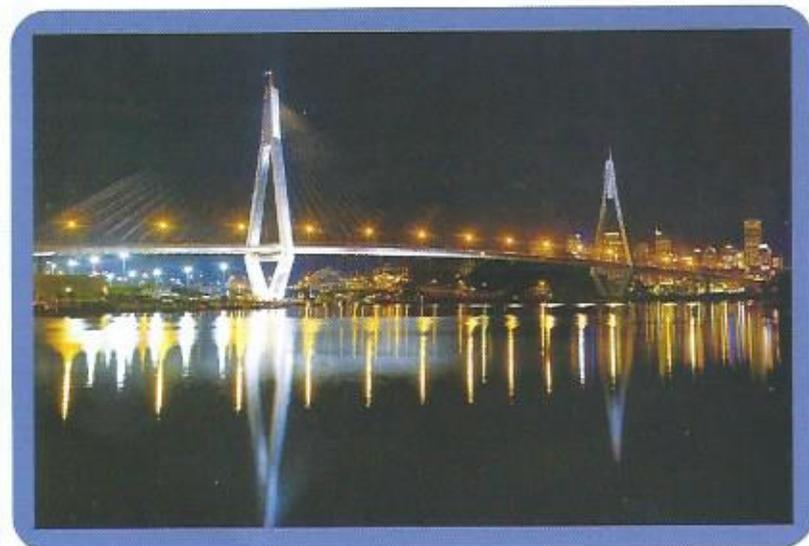
A Anzac Bridge estende-se sobre a Baía Johnstons, em Sidney, Austrália. A ponte serve de elo de ligação entre o centro da cidade e os subúrbios a oeste, unindo Pyrmont e Rozelle. Seu design é o resultado de considerações estéticas e estruturais quanto ao custo e eficiência do equipamento. Inaugurada em 1995, a um custo total de US\$ 170 milhões, é a maior ponte estaiada da Austrália e está entre as maiores do mundo.

Com um vão central de 345m e um comprimento total de 800m, a Anzac Bridge é sustentada por duas torres em concreto protendido de 120m de altura, as quais se prendem 128 cabos. O tabuleiro, com largura de 32,2m, foi executado em balanços sucessivos.

Originalmente, a ponte chamava-se Glebe Island Bridge, nome recebido da antiga ponte substituída. Porém, com o 80º aniversário do Dia do Armistício, em 11 de novembro de 1998, a ponte foi nomeada com as iniciais de Australian and New Zealand Army Corps, em memória aos membros dos exércitos dos dois países que lutaram na Primeiro Guerra Mundial. Duas bandeiras foram colocadas no topo das torres, a bandeira da Austrália na torre leste e da Nova Zelândia, na torre oeste.



Construção: 1992-1995  
Construtora: Freyssenet Internacional  
(concreto/cabos/fôrmas)  
Vãos: 140-345-140 m



## Rudloff - 45 anos

Em 2005, completamos 45 anos.

45 anos oferecendo soluções seguras e inovadoras  
para a engenharia brasileira.

Agradecemos a você, nosso cliente, pela confiança  
em nós depositada ao longo destes anos.

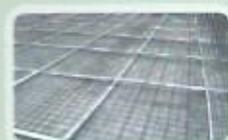
E lhe oferecemos, como um brinde  
a esta data tão importante, o nosso novo  
catálogo sobre concreto protendido.

Solicite já o seu.

Porque tradição, significa qualidade.



PONTES ESTAIADAS SISTEMA VSL



PROTENSÃO COM ADERÊNCIA



PROTENSÃO SEM ADERÊNCIA



USINAGEM DE PEÇAS



APARELHOS DE APOIO METÁLICOS



EMENDAS PARA BARRAS DE AÇO



ESTRUTURAS EMPURRADAS



# Só de saber que as Cordoalhas Pós-Tensão são Belgo Bekaert, fica fácil calcular o custo-benefício.

## Edificações Protendidas

A protensão é largamente aplicada em edifícios residenciais, proporcionando lajes maciças planas e sem vigas, menos pilares, maior layout interno e estruturas mais fáceis e rápidas de se construir.



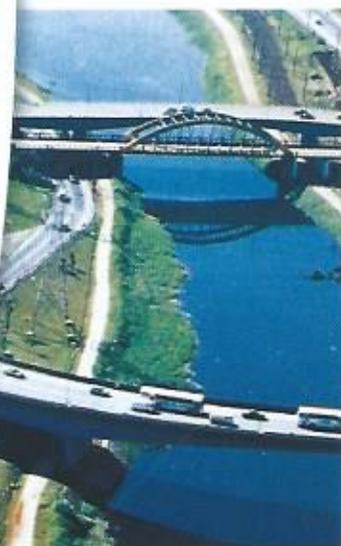
## Estais

As Cordoalhas especiais para pontes estaiadas são produzidas com materiais de altíssima qualidade, que garantem durabilidade e máxima resistência à fadiga. São também encapadas na cor preta com polietileno de alta densidade, resistente aos raios UV.



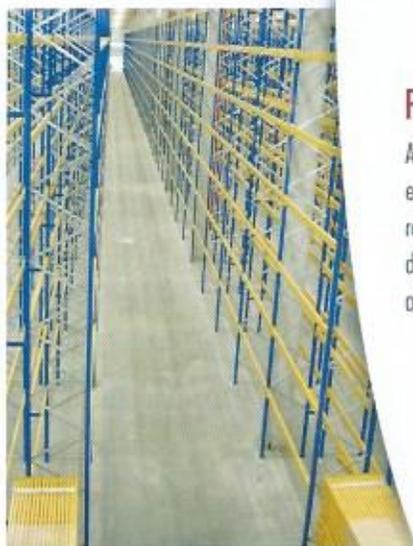
## Pontes e Viadutos

Solução tradicional para obtenção de grandes vãos em grandes obras de infra-estrutura.



## Pisos Industriais

A aplicação de Cordoalhas engraxadas e plastificadas em pisos industriais reduz consideravelmente o índice de juntas e diminui a manutenção, aumentando a vida útil do piso.



Quem procura uma solução única, para diversos tipos de protensão, encontra tudo o que precisa nas Cordoalhas Belgo Bekaert: qualidade, resistência, durabilidade, rapidez de aplicação e economia. Se você puser todas as vantagens na ponta do lápis, vai descobrir que até o custo se transforma em benefício.

**BELGO**   
BELGO Bekaert Arames

 FALE COM A BELGO  
**08000 151221**  
[www.belgo.com.br](http://www.belgo.com.br)

 **BELGO**  
Grupo Arcelor