

Instituto Brasileiro do Concreto  
Fundado em 1972  
Declarado de Utilidade Pública Estadual  
Lei 2538 de 11/11/1980  
Declarado de Utilidade Pública Federal  
Decreto 86871 de 25/01/1982

Diretor Presidente  
Paulo Helene  
Diretor 1ª Vice-Presidente  
Cláudio Sbrighi Neto  
Diretor 2ª Vice-Presidente  
Eduardo Antonio Serrano  
Diretor 3ª Vice-Presidente  
Mário William Esper  
Diretor 1ª Secretário  
Carlos Eduardo Siqueira Tango  
Diretor 2ª Secretário  
Paulo Fernando Araújo da Silva  
Diretor 1ª Tesoureiro  
Antonio Domingues Figueiredo  
Diretor 2ª Tesoureiro  
Laércio Amâncio de Lima  
Diretor Técnico  
Rubens Machado Bittencourt  
Diretor de Relações Institucionais  
Luiz Rodolfo Moraes Rego  
Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento  
Túlio Nogueira Bittencourt  
Diretor de Publicações  
Ana Elizabeth Paganelli Guimarães  
Diretor de Marketing  
Wagner Roberto Lopes  
Diretor de Eventos  
Paulo Roberto Amaro  
Diretor de Cursos  
Juan Fernando Matias Martín  
Diretor de Informática  
José Roberto Braguim  
Assessor da Presidência  
Augusto Carlos de Vasconcelos  
Assessor da Presidência  
Jorge Baulouni Neto

#### REVISTA CONCRETO

Revista Oficial do IBRACON  
Revista de Caráter Científico, Tecnológico e  
Informativo para o Setor Produtivo da  
Construção Civil, para o Ensino e para a  
Pesquisa em Concreto ISSN 1806-9673  
Tiragem desta edição 5.000 exemplares  
Publicação Trimestral  
Distribuída gratuitamente aos associados

Publicidade e Promoção  
Arlene Regnier de Lima Ferreira  
arlene@ibracon.org.br

Projeto Gráfico  
SmartConsulting

Editor  
Fabio Luis Pedrosa MTB 41728  
fabio@ibracon.org.br

Assinatura e Atendimento  
Thais Ferreira  
thais@ibracon.org.br

Gráfica: Iplis Gráfica e Editora

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

Copyright 2004 IBRACON. Todos os direitos de  
reprodução 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 Elizabeth Guimarães, UNICAMP, Brasil  
Antonio Figueiredo, PCC-EPUSP, Brasil  
Fernando Branco, IST, Portugal  
Hugo Corres Peiretti, FHECOR, Espanha  
Paulo Helene, IBRACON, Brasil  
Paulo Monteiro, UC BERKELEY, USA  
Pedro Castro, CINVESTAV, México  
Raul Husni, UBA, Argentina  
Rubens Bittencourt, FURNAS, Brasil  
Ruy Ohtake, ARQUITETURA, Brasil  
Tulio Bittencourt, PEF-EPUSP, Brasil  
Vitervo O'Reilly, MICONS, Cuba  
IBRACON

Secretário Executivo: Leonel Tula  
Av. Prof. Almeida Prado, 532  
Prédio 62, 1º andar, IPT -  
Cidade Universitária.  
CEP 05508-901 - São Paulo - SP  
Tel: (11)3714-2149



# SUMÁRIO

## Balancos Sucessivos A tecnologia de construção da ponte sobre o rio Guamá **48**



## Seção Especial Fôrmas e escoramentos a serviço da engenharia

# 06

### É MAIS...

- 2 Normas e consumidores
- 3 Editorial
- 4 Converse com o Ibracon
- 6 Personalidade Entrevistada. Paulo Assahi
- 10 Acontece: concreto com agregados de betão
- 16 Fôrmas de madeira: redução de custos
- 22 Mantenedor: MC-Bauchemie
- 24 Tecnologia: argamassa polimérica
- 28 Histórico do sistema de fôrmas em edificações
- 30 Mercado Nacional
- 32 Fôrmas com vigas de madeira industrializadas
- 36 Fôrmas: otimizando a construção
- 42 Costo y calidad de las estructuras
- 56 Fluência na secagem do CAR
- 62 Normalização de argamassas
- 72 Recordes da Engenharia



Foto Capa: ponte sobre o rio Guadiana, Portugal  
Manual 2002 Cofragens (Peri)

## As Normas Brasileiras e o Código de Defesa do Consumidor

Pode ser que grande parte da população não saiba, mas todos os produtos e serviços praticados ou vendidos dentro do território nacional devem obedecer às Normas Brasileiras publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT. Trata-se de uma entidade privada e sem fins lucrativos que fornece a base necessária para o desenvolvimento tecnológico brasileiro.

Um dos objetivos da normalização é prover toda a sociedade de meios eficazes para comprovar a qualidade dos produtos e serviços utilizados, além de permitir uma troca de informações entre produtores e usuários. Pode-se dizer que a preservação da saúde, da segurança e do meio ambiente está diretamente ligada à forma de fabricar os produtos, o que acaba por influenciar na qualidade de vida da população. Por isso, respeitar as leis é uma obrigação de todos.

Até a publicação no Diário Oficial da Lei 8.078, em 11 de setembro de 1990, as Normas Brasileiras apenas serviam de orientação para a fabricação de produtos e execução de serviços, mas não tinham obrigatoriedade por força de lei. Esta Lei 8.078, mais conhecida como Código de Defesa do Consumidor, diz em seu Artigo 1º:

**"O presente código estabelece normas de proteção e defesa do consumidor, de ordem pública e interesse social, nos termos dos art. 5º, inciso XXXII, inciso V, da Constituição Federal e art. 48 de suas Disposições Transitórias".**

Esta mesma lei estabelece em seu capítulo V, seção IV, artigo 39, inciso VIII:

**"É vedado ao fornecedor de produtos ou serviços, dentre outras práticas abusivas, colocar no mercado de consumo, qualquer produto ou serviço em desacordo com as normas expedidas pelos órgãos oficiais competentes ou, se normas específicas não existirem, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas ou outra entidade credenciada pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normali-**

**zação e Qualidade Industrial (Conmetro)"<sup>1</sup>**

Essas e outras exigências da normalização técnica nacional ficam sujeitas ainda às regras do Código de Defesa do Consumidor CDC<sup>2</sup>.

Outra lei - de número 8.666 de 21 de junho de 1993 - que estabelece normas gerais para licitações de órgãos públicos, afirma em seu capítulo I, seção II, art. 6º, inciso X:

**"Projeto Executivo - o conjunto dos elementos necessários e suficientes à execução completa da obra, de acordo com as normas pertinentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT".**

Quanto à questão da responsabilidade, o Código de Defesa do Consumidor estabelece no Capítulo IV, Artigo 12:

**"O fabricante, o produtor, o construtor, nacional ou estrangeiro, e o importador respondem, independentemente da existência de culpa, pela reparação dos danos causados aos consumidores por defeitos decorrentes de projeto, fabricação, construção, montagem, fórmulas, manipulação, apresentação ou acondicionamento de seus produtos, bem como por informações insuficientes ou inadequadas sobre sua utilização e riscos".**

As sanções previstas nas duas leis vão desde uma multa até a interdição total do estabelecimento ou obra, passando por infrações criminais e penais, apreensão do produto, cassação do registro, proibição de fabricação, cassação de licença e intervenção administrativa.

Outro detalhe importante que devemos observar é a co-responsabilidade daquele que vende um produto não normalizado ou aceita um serviço executado fora dos padrões da ABNT. O Código de Defesa do Consumidor diz em seu capítulo IV - que trata da Qualidade de Produtos e Serviços e da Prevenção e da Reparação dos Danos, seção III - da Responsabilidade por Vício do Produto e do Serviço, em seu artigo 18:

**"Os fornecedores de produtos de consumo duráveis ou não duráveis respondem solidariamente pelos vícios de qualidade ou quantidade que os tornem impróprios ou inadequados ao consumo a que se destinam ou lhes diminuam o valor, assim como por aqueles decorrentes da disparidade, com as indicações constantes do recipiente, da embalagem, rotulagem ou mensagem publicitária, respeitadas as variações decorrentes de sua natureza, podendo o consumidor exigir a substituição das partes viciadas".**

Ainda neste mesmo aspecto, o Artigo 23 estabelece que o fornecedor de produtos e serviços não pode dizer que desconhece os vícios dos mesmos:

**"A ignorância do fornecedor sobre os vícios de qualidade por inadequação dos produtos e serviços não o exime de responsabilidade."**

Por último, o Artigo 18 em seu Parágrafo 6.º - "São impróprios ao uso e consumo" -, inciso II estabelece:

**"Os produtos deteriorados, alterados, adulterados, avariados, falsificados, corrompidos, fraudados, nocivos à vida ou à saúde, perigosos ou, ainda, aqueles em desacordo com as normas regulamentares de fabricação, distribuição ou apresentação;"**

Todas as partes da cadeia construtiva são responsáveis pelos danos ou vícios que os serviços e produtos possam apresentar. No entanto, o diretamente responsabilizado por reparar as perdas do consumidor é o fornecedor final. Portanto, o estabelecimento que vende um produto fora de Norma ou o construtor que o utiliza na execução de uma obra são automaticamente acionados pela justiça em caso de reclamação.

O fornecedor que está preocupado com estas implicações exige dos fabricantes a comprovação de que o produto está em condições de ser aplicado.

Desta forma, cumprir as Normas Brasileiras é, antes de tudo, cumprir a lei e zelar pela qualidade de produtos e serviços.

<sup>1</sup> INMETRO é uma autarquia federal, vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, que atua como Secretaria Executiva do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro), colegiado interministerial, que é o órgão normativo do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro). Objetivando integrar uma estrutura sistêmica articulada, o Sinmetro, o Conmetro e o Inmetro foram criados pela Lei 5.966, de 11 de dezembro de 1973, cabendo a este último substituir o então Instituto Nacional de Pesos e Medidas (INPM) e ampliar significativamente o seu raio de atuação a serviço da sociedade brasileira. No âmbito de sua ampla missão institucional, o Inmetro objetiva fortalecer as empresas nacionais, aumentando sua produtividade por meio da adoção de mecanismos destinados à melhoria da qualidade de produtos e serviços. Sua missão é promover a qualidade de vida do cidadão e a competitividade da economia através da metrologia e da qualidade.

<sup>2</sup> CDC. Ministério da Justiça do Brasil, dentro do Departamento de Proteção e Defesa do Consumidor, da Secretaria de Direito Econômico, ou órgão federal que venha substituí-lo, é organismo de coordenação da política do Sistema Nacional de Defesa do Consumidor, cabendo-lhe:

I - planejar, elaborar, propor, coordenar e executar a política nacional de proteção ao consumidor;  
II - receber, analisar, avaliar e encaminhar consultas, denúncias ou sugestões apresentadas por entidades representativas ou pessoas jurídicas de direito público ou privado;  
III - prestar aos consumidores orientação permanente sobre seus direitos e garantias;  
IV - informar, conscientizar e motivar o consumidor através dos diferentes meios de comunicação;  
V - solicitar à polícia judiciária a instauração de inquérito policial para a apreciação de delito contra os consumidores, nos termos da legislação vigente;  
VI - representar ao Ministério Público competente para fins de adoção de medidas processuais no âmbito de suas atribuições;  
VII - levar ao conhecimento dos órgãos competentes as infrações de ordem administrativa que violarem os interesses difusos, coletivos, ou individuais dos consumidores;  
VIII - solicitar o concurso de órgãos e entidades da União, Estados, do Distrito Federal e Municípios, bem como auxiliar a fiscalização de preços, abastecimento, quantidade e segurança de bens e serviços;  
IX - incentivar, inclusive com recursos financeiros e outros programas especiais, a formação de entidades de defesa do consumidor pela população e pelos órgãos públicos estaduais e municipais;  
XIII - desenvolver outras atividades compatíveis com suas finalidades.  
Parágrafo único. Para a consecução de seus objetivos, o Departamento de Proteção e Defesa do Consumidor poderá solicitar o concurso de órgãos e entidades de notória especialização técnico-científica



A principal missão desta gestão tem sido a valorização da cadeia produtiva do concreto. Com esse foco o IBRACON tem procurado resgatar todos os intervenientes no processo construtivo em concreto, desde os geradores de conhecimento e inovação, ou seja, as Universidades e os Centros e Institutos de Pesquisa, até as empresas e profissionais empreendedores do setor produtivo.

Ironicamente, o setor de fôrmas e escoramentos, que tem uma incidência da ordem de 30% no custo total das estruturas de concreto de edificações, historicamente não vinha participando de forma pró-ativa do esforço permanente do IBRACON em transferir e difundir conhecimentos.

Felizmente, essa maior integração aconteceu e hoje as mais importantes empresas do setor estão sócios mantenedores do IBRACON e estão compartilhando seus conhecimentos com os demais intervenientes. Registre-se a competente intermediação do eng. Paulo Assahi, que é amplamente reconhecido no meio técnico brasileiro. Seus trabalhos inovadores têm revolucionado a produtividade do setor e valorizado a engenharia nacional de fôrmas para concreto.

A importância do compartilhar, do difundir e da transferência do conhecimento entre empresas e profissionais, entre universidades e setor produtivo, tem marcado positivamente a história do concreto e da construção civil no país que pode se orgulhar de ter uma trajetória de vitórias profícuas nesse campo.

Pode-se afirmar que a tecnologia do concreto no Brasil teve seu início com a implantação do Gabinete de Resistência dos Materiais, em 1899, na Escola Politécnica EPUSP. Nessa época, consoante com os ideais dos fundadores da POLI, o Gabinete servia às finalidades de ensino e pesquisa, ao mesmo tempo que prestava serviços ao setor produtivo, especialmente na área de construção civil. Em 1926, passou a denominar-se Laboratório de Ensaios de Materiais e, a partir de 1934, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo IPT.

A importância da integração universidade-setor empresarial começou com a publicação, pelo Grêmio Politécnico, do Manual de Resistência dos Materiais em 1905, no qual constavam resultados de ensaios de cimentos, na época ainda importados, pois o "novo" material concreto estava dando seus primeiros passos.

A partir da década de 20, inicia-se a produção de cimento Portland no país, há um grande desenvolvimento da construção civil e as obras de concreto armado passam a assumir cada vez maior importância. No exterior são difundidos os trabalhos clássicos de René Ferét, Otto Graf e Duff Abrams sobre os princípios de dosagem dos concretos.

O professor e eng. Ary Frederico Torres, publica em 1927, o *Boletim EPUSP n.1* intitulado "Dosagem dos Concretos", que se constitui na obra histórica de uma das mais bem sucedidas ações de transferência de conhecimento e integração universidade-empresa.

Na década de 30, o também prof. e eng. Rômulo de Lemos Romano, colaborador de Ary Torres na POLI, publica o *Boletim EPUSP n. 5*, no qual apresenta um balanço da situação dos cimentos existentes no mercado naquela época. No *Boletim EPUSP n.11*, ambos propõem um método de ensaio das propriedades mecânicas dos cimentos Portland.

Nasce aí a primeira norma brasileira, o *Método de Ensaio de Cimento*, o *MB-1* da futura ABNT, fundada em 1940, que também publica o primeiro procedimento *NB-1 Projeto e Execução de Estruturas de Concreto* e a primeira especificação brasileira *EB-1 Especificação de Cimento Portland*, e também a segunda *EB 2 Agregados para Concreto*.

Poucos tiveram consciência naquele momento da enorme contribuição pioneira do setor de concreto na industrialização moderna e sustentada deste país.

O prof. Ary Torres da POLI/IPT funda a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e é seu primeiro presidente. Junto com outros pesquisadores insígnis ajuda também a fundar a ABNT, entidade privada, moldada no mais puro conceito de modernidade industrial, cuja missão é ser o mais importante fórum de normalização consensual e voluntária do país, contribuindo sobremaneira para o desenvolvimento sadio do parque industrial brasileiro.

Um pouco antes, no Rio de Janeiro, em 1933, é fundado o Instituto Nacional de Tecnologia-INT. O eng. Alberto Pastor de Oliveira, publica em 1939 a primeira aplicação dos conceitos estatísticos no controle da resistência à compressão do concreto, analisando 600 corpos-de-prova de uma mesma obra.

Hoje esses conceitos são automáticos e amplamente utilizados por outros setores industriais.

Em 1951, o prof. e eng. Eládio Petrucci da UFRGS e CIENTEC (ITERS), apresenta o método de dosagem por ele

desenvolvido e que hoje é amplamente utilizado pelo IPT, pela POLI e por muitos outros centros de pesquisa e empresas no país e no exterior.

Eládio Petrucci transfere-se para São Paulo, assume a disciplina de Materiais de Construção da POLI e publica em 1963, o primeiro livro sobre "Concreto de Cimento Portland" com patrocínio da ABCP, consolidando a tecnologia do concreto no Brasil.

Em 1972 o pesquisador e eng. Gilberto Molinari, demonstrando apurada visão tecnológica, funda no IPT, junto com Francisco Basílio da ABCP, Eládio Petrucci da POLI, Falcão Bauer, Selmo Kuperman, Simão Prizskulnik e Cláudio Sbrighi do IPT, Amaral, Geraldo Isaia da UFSM, Vasconcelos e tantos outros especialistas de renome, o Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON, que passa a representar a partir de então o mais importante canal de divulgação e de transferência de tecnologia dos trabalhos sobre concreto no país.

As contribuições expressivas dos pesquisadores IPTeans, tais como Gilberto Molinari, Simão Prizskulnik e Yasuko Tezuka, que também exerceram a presidência do IBRACON, e mais recentemente de Carlos Tango, Ércio Thomaz, Cláudio Sbrighi, Cláudio Miidieri, Pedro Kirilos, Maria Alba Cincotto, Ernan Silva, Eduardo Horta e tantos outros para o desenvolvimento da construção civil no país, é memorável. Heraldo de Souza Githay, também do IPT, teve atuação destacada em Ilha Solteira e colaborou para a instalação do primeiro laboratório de concreto de empresa no país, na então Centrais Elétricas do Estado de São Paulo CESP. Esse laboratório hoje em dia ainda atende não só o setor energético como também faz parte da capacitação laboratorial da UNESP na pesquisa e na formação de novos engenheiros.

Quanto vale hoje o conjunto de pesquisas, documentos, contribuições e conceitos produzidos com competência por essas 5 instituições "irmãs"; POLI, IPT, ABCP, ABNT e IBRACON, cujas missões se complementam e se adaptam com pioneirismo a cada momento da história industrial deste país?

Nas duas últimas décadas o desenvolvimento e o conhecimento sobre tecnologia do concreto tem sido amplamente difundido no país com inúmeros novos centros de ensino e pesquisa, muitos dos quais formados a partir das contribuições da POLI. Ainda assim, as contribuições expressivas dos pesquisadores e profissionais dessas entidades se destacam no contexto da construção civil do país por seu pioneirismo, atualidade e conteúdo conceitual.

Hoje em dia é fácil e justo reconhecer a enorme contribuição da EMBRAPA na integração pesquisa-empresa agrícola; reconhecer uma estreita, profícu e vitoriosa relação entre a EMBRAER e os engenheiros aeronáuticos formados pelo ITA, assim como é válido defender e lutar por uma maior e permanente integração universidade-setor produtivo.

Mas é também válido orgulhar-se da vitoriosa trajetória de integração exemplar que a indústria da construção e seu carro-chefe "o concreto" vem dando ao desenvolvimento deste país, desde que pioneiramente deu origem aos mais importantes meios perenes e democráticos de transferência de tecnologia no Brasil. Vamos em frente...



paulo.helene@poli.usp.br

# Converse com o IBRACON

### AS NORMAS BRASILEIRAS E O CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR

*Consideramos oportuno o IBRACON divulgar a importância do respeito à normalização nacional na área de concreto. Para tal enviamos em anexo um texto preparado pela Itambé e que foi revisado por nossa assessoria jurídica.*

*Jorge Aoki  
Sócio Mantenedor. Categoria Diamante. Curitiba*

IBRACON: Oportuníssima sugestão imediatamente acatada. Veja publicação neste número que está um pouco diferente do texto enviado por você com a intenção de ser mais didático e mais completo.

### PRÊMIOS A ESTUDANTES

*Gostaria de sugerir ao IBRACON instituir um prêmio sobre concreto especificamente voltado aos estudantes de ENGENHARIA CIVIL, pois o engenheiro civil é o engenheiro da indústria da construção civil que, por sua vez, é uma das profissões mais abrangentes em termos de atuação profissional. É o engenheiro civil que projeta e dimensiona estruturas de concreto armado, protendido, casas, pontes, portos, rodovias, infra-estrutura, além de ser uma das profissões mais antigas da humanidade, sempre voltada à melhoria da qualidade de vida da sociedade a que serve. Respeitosamente,*

*Prof. Dr. Rudney C. Queiroz  
Professor Adjunto. Livre-Docente. Departamento de Engenharia Civil  
Sócio individual. Categoria Ouro. Unesp/Bauru*

IBRACON: Coincidimos com suas opiniões sobre a importância da engenharia e da arquitetura. O IBRACON sempre entendeu que prêmios são uma forma elegante de reconhecimento ao trabalho competente de alguns e, por outro lado, um forte instrumento de estímulo à categoria, incluídos os estudantes. De momento, há três prêmios a estudantes, sendo dois prêmios específicos aos estudantes de engenharia civil: **APARATO DE PROTEÇÃO AO OVO (APO) E CONCREBOL**. Em alguns casos, além do prêmio em dinheiro, o IBRACON tem ajudado nas viagens ao exterior para que o melhor grupo de cada ano possa bem representar o Brasil nas competições internacionais de concreto. O terceiro prêmio, denominado **OUSADIA**, está dedicado a estudantes de arquitetura e de engenharia que devem trabalhar juntos num projeto emblemático. Este ano dentro do concurso **OUSADIA**, o **DESAFIO2005** é realizar o projeto de uma ponte para a Via Mangue em Recife. Neste caso, o prêmio é um estágio de um mês num estúdio de arquitetura e num escritório de engenharia, ambos famosos e reconhecidos. Neste ano de 2005, os estágios serão no estúdio do Arq. Ruy Ohtake e no escritório do Eng. Fernando Stuchi.

### ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

*Sou aluna do curso de Administração de Empresa da FAM - Faculdade de Americana/SP e junto com a minha equipe estamos desenvolvendo um projeto para apresentação na faculdade. O Tema é sobre reciclagem e ao ler a tese de doutorado e a dissertação de mestrado do Dr. Salomon Mony Levy, Coordenador do Comitê Técnico do IBRACON sobre Meio Ambiente, achamos bem informativo e interessantíssimo e pensamos que o IBRACON poderia nos ajudar. **Estamos à procura dos componentes da argamassa para assentamento de blocos de concreto para alvenaria de vedação e suas quantidades, para um saco de 20kg.** Gostariamos muito de poder contar com a ajuda do IBRACON, pois fizemos várias tentativas com as empresas Votoran e Mineral, entre outras, e não conseguimos obter sucesso. Trata-se de um trabalho universitário, somente uma base de dados para constar. Estaremos aguardando ansiosamente.*

*Elisangela da Silva & Luciana Barbosa  
Futuras sócias*

IBRACON: Na realidade fornecer um traço, ainda que seja para um trabalho universitário, sempre representa um certo risco. Imaginem que caia em mãos despreparadas que dele façam mau uso e depois justifiquem-se declarando que foi o traço e materiais fornecidos pelo IBRACON, pela Votoran, pela Mineral ou qualquer outra empresa! Na verdade, um traço e seus constituintes são específicos para cada caso, cada tipo de vedação, se externa ou interna, se aparente ou revestida, para cada faixa de absorção de água dos blocos de concreto, para cada tipo de reciclagem de entulho, se argilosos ou cimentícios, para cada forma de assentamento, etc. Para evitar todos esses riscos de recomendar algo que não se aplique bem ao caso específico, o IBRACON defende que deve ser contratado um profissional para cada caso e este deve responder pelo traço solidariamente com os fornecedores dos materiais constituintes e com os executores da obra. Dessa forma, o IBRACON acha que estará contribuindo para a defesa e a valorização da engenharia e do engenheiro civil. Só para não ser muito chato, há uma regra geral que recomenda em volume: 1 parte de cimento Portland tipo I, II, III ou IV; 2 a 3 partes de cal hidratada tipo I ou II; 9 a 12 de agregado miúdo dos quais até 20% (em alguns casos pode chegar a 100%) podem ser reciclados, aditivos incorporadores de ar; aditivos retardadores de pega; aditivos ou pigmentos coloridos se fôr o caso de argamassas coloridas; aditivos poliméricos tipo base PVA ou base acrílico segundo cada caso; água potável com moderação. Tudo isso misturado numa argamassadeira e não numa betoneira, sempre lembrando de misturar uns 2 a 5 dias antes a cal hidratada com a areia e, somente no momento do uso, adicionar o cimento. Para saber mais sugerimos consultar as entidades parceiras: ABNT ([www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)), ABCP ([www.abcp.org.br](http://www.abcp.org.br)); ABPC ([www.abpc.org.br](http://www.abpc.org.br)); ABAI ([www.abai.org.br](http://www.abai.org.br)).

## SEGURANÇA & RESPONSABILIDADES

Caro Prof. Helene; após ler seu texto sobre o desabamento do Edifício Areia Branca, no Recife, publicado no informativo eletrônico do IBRACON (19/10/2004), gostaria de dizer que concordo com o Sr. em gênero, número e grau. Entretanto, fico muito preocupado quanto ao exercício da profissão de Engenheiro Civil. Fico preocupado pois, de certa forma (e agora gostaria que o Sr. entendesse o enfoque que dou às minhas palavras), não há a necessidade de uma pessoa ser um profissional habilitado para que ele atue na engenharia civil. Digo isso, pois no último domingo no Programa Fantástico (Rede Globo) foi exibida uma reportagem sobre a qualidade das cales nacionais, e o repórter perguntou a um pedreiro, qual a melhor "receita" de argamassa. Continuando a reportagem, um químico de laboratório, e não um engenheiro civil, teceu alguns comentários sobre as Cales nacionais. Fico preocupado com esta atitude, pois de uma certa forma, reportagens como esta instituem na sociedade o conceito de que um pedreiro possui bons conhecimentos sobre dosagem de traços de argamassas e concretos, sendo que de tal profissional não se exige sequer uma hora-aula de um curso técnico.

Certa vez, conversando com um amigo meu, que também é seu amigo, este me disse que a função do CREA é defender a sociedade de "nós" engenheiros. Será que o CREA também não deveria ter a responsabilidade de defender nossos interesses (sem corporativismo infantil), combatendo "realmente" o exercício ilegal da profissão por pseudo-profissionais?

Como exemplo do exercício ilegal da profissão no campo da medicina, posso citar que no colégio técnico no qual também leciono, o curso mais concorrido no vestibular é o de Técnico em Enfermagem. Esta concorrência é devido ao fato de que nenhuma pessoa pode ser contratada em uma clínica médica nem para fazer um simples curativo, se esta pessoa não possuir "x" horas de aulas em um curso técnico, sendo este profissional e clínica fiscalizados pelo COREN (Conselho Regional de Enfermagem), que assim evita o exercício da profissão por profissional não habilitado.

Será que a partir do momento que for instituído na sociedade que a engenharia civil deve ser praticada por engenheiros civis, não ficaria mais fácil também instituímos os conceitos de "durabilidade" e de "manutenção preventiva" nas edificações e obras de arte tão necessários à Engenharia Civil?

Prof. Eng. Roberto Ramos de Freitas  
Sócio Individual. Categoria Ouro. São José do Rio Preto/SP

Prezado Prof. Paulo Helene: excelente artigo e iniciativa do IBRACON abrindo a discussão sobre segurança e responsabilidades. Vou divulgá-lo junto à Associação dos Engenheiros e Arquitetos de Nova Friburgo / RJ (AEANF) para discussão do tema e orientação dos profissionais envolvidos em projetos e execução.

Eng. Ricardo Raphael Bonan de Aguiar  
Presidente da AEANF. 1993-1995  
Sócio individual. Categoria Ouro. Nova Friburgo/RJ

IBRACON: O IBRACON está firme na defesa e valorização da engenharia e do engenheiro civil. Juntos podemos mais. Pretende-se começar ainda neste ano de 2005 o Programa IBRACON de Certificação de Mão de Obra especializada para estruturas de concreto (argamassas e pastas), já exigido pela Petrobrás e outras grandes e esclarecidas empresas. Além disso, estamos divulgando e queremos implementar as recomendações constantes do MANIFESTO PÚBLICO, publicado na íntegra no número anterior (CONCRETO n. 37).

## MANIFESTO PÚBLICO EM DEFESA DA ENGENHARIA CIVIL

Prezados colegas do IBRACON: apesar de entender os motivos de porquê o IBRACON não irá publicar o Manifesto em jornais de grande circulação, a ABMS lamenta a impos-

sibilidade dessa publicação. Isto não só pelos pleitos, mais do que justos, que seriam divulgados com o Manifesto, mas também pelo menor aproveitamento da mobilização gerada entre diversas entidades e instituições de grande importância na Engenharia do país. A ABMS estará publicando o Manifesto em seu próximo Boletim e tentando viabilizar outras formas de divulgação com associações congêneres. Ficamos disponíveis para uma cooperação em uma próxima oportunidade. Em particular, com relação ao evento sobre Pontes e Viadutos, certamente a participação de um engenheiro geotécnico seria oportuna e adequada. Um exemplo recente, a ser debatido, refere-se à ponte da rodovia SPaulo-Curitiba. Se o assunto ainda puder ser estudado, sugerimos também a área de Barragens. Recentemente, tivemos a ruptura da Barragem de Camará, na Paraíba, ocorrida no contato do concreto rolado com a rocha da fundação. Atenciosamente,

Prof. Dr. Alberto Sayão  
Presidente da ABMS. Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica

IBRACON: Sem dúvida, desejamos unir esforços do IBRACON com tão renomada Instituição parceira. De imediato, consideramos acertado a participação da ABMS no evento de pontes organizado pelo IBRACON no dia 09 de maio 2005 e na discussão do tema segurança de barragens no CBC2005 em Olinda, Pernambuco de 2-7 de setembro de 2005.

## PÓ DE PEDRA

Caro Prof. Paulo Helene: você poderia me ajudar numa dúvida? Algumas concreteiras estão utilizando em seus traços a tal "areia artificial". Não tenho conhecimentos sobre o que a mesma significa, e se ela pode alterar em algo as características mecânicas e de durabilidade do concreto estrutural. Obs.: Parabéns pelo seu trabalho a frente do IBRACON, e obrigado pelo cartão de sócio que recebi...Notei a tarja magnética...Dá pra sacar alguns US\$ com ele??rs..... Abraços

Vicente Vidal Gonzalez  
Sócio individual. Categoria Ouro.

IBRACON: Areia artificial é o mesmo que o antigo PÓ de PEDRA. Claro que não é o ideal para concreto, pois pede mais água e exige mais cimento por metro cúbico para uma mesma resistência. Porém, é uma questão ambiental. As pedreiras só vendem brita se a concreteira der um final feliz ao pó de pedra que não pode mais ser jogado no ambiente. Em resumo, trata-se de ônus aos concreteiros em benefício de uma qualidade de vida melhor para todos. Viva o concreto!!! Saiba mais em II SUFFIB ([www.finosdepedreira.com.br/suffib](http://www.finosdepedreira.com.br/suffib))

## PUBLICAÇÕES TÉCNICAS

Estimado Profesor; en esta Semana Santa aprovecho la ocasión para enviarle mis augurios de unas Felices Pascuas de Resurrección y reiterarle mi agradecimiento por su generosa colaboración. El material enviado por Uds. es un valioso instrumento de conocimiento, trabajo y consulta para las actividades docentes, la actualización profesional y la asistencia técnica a la Comunidad. Un afectuoso saludo,

Prof. Ing. Pablo M. Micheli  
INIC - Ingeniería - UNNE  
calle Vélez Sársfield, 915, W3400 CWC. Corrientes. Argentina

IBRACON: Muchas gracias, seguimos en contacto. Ud. podrá contribuir aún más por la integración regional asistiendo y participando del Congreso Brasileiro de Concreto CBC2005 en Olinda/Recife, Pernambuco del 2 al 7 de Septiembre, 2005. Allí habrá muchas oportunidades de intercambio proficuo. Consulte nuestra página [www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)

# Paulo Assahi



Paulo N. Assahi é sócio-diretor da ASSAHI ENGENHARIA LTDA, empresa especializada em consultoria e projeto de fôrma, que, nos últimos 20 anos, foi responsável por mais de 1.000 projetos de fôrmas. Formado em engenharia civil em 1974, pela POLI-USP, atualmente, é professor convidado do curso MBA – PECE/EPUSP e autor de vários artigos técnicos publicados em revistas técnicas de engenharia.

**IBRACON:** Qual é a importância do sistema de fôrmas para a construção civil brasileira em concreto? Em que medida o sistema contribui para a produtividade, a rentabilidade, a qualidade, a integração e a evolução do setor construtivo?

**ASSAHI:** A fôrma é um dos subsistemas dos muitos do sistema construtivo, mas com particularidade única: é o que inicia todo o processo produtivo. Ela passa a ser referência para os demais e exerce forte influência na qualidade, prazo e custo da construção. O prumo, nível, alinhamento e esquadro das peças estruturais, que resultam da correta utilização da fôrma são pré-requisitos básicos necessários para todos os demais subsistemas. A fôrma é a única responsável pela geometria dos elementos estruturais.

Quanto à melhoria da produtividade, da qualidade, da integração que você se refere, um dos passos fundamentais é a eliminação dos desperdícios, de materiais e de tempo, ainda muito comum nos canteiros de obra. Veja que a maioria destes desperdícios têm origem na fôrma. São os enchimentos de argamassa ou correções que necessitam até de pequenas demolições para corrigir erros geométricos da estrutura mal moldada. Além disso, uma grande parte das patologias observadas nos edifícios concluídos pode ter, também, origem na fôrma. As freqüentes trincas na estrutura ou na vedação são, na maioria das vezes, conseqüências da deformação ou mobilidade

excessiva da estrutura causada pela má utilização do sistema de fôrma. O excesso de sobrecarga devido aos revestimentos e enchimentos, já mencionados, não previstos nos cálculos também são apontados como causador de patologias, motivo de altos custos e desgaste da imagem que onera os construtores pós-entrega.

Portanto, não é exagero dizer que, para se obter o empreendimento com qualidade, produtividade, custos competitivos, é imprescindível iniciá-lo com sistema de fôrma tecnologicamente correto com controles rígidos de execução.

---

*IBRACON: Qual é o nível tecnológico do sistema de fôrmas brasileiro? Quais as razões para tal nível tecnológico?*

**ASSAHI:** Com as facilidades proporcionadas com a globalização, hoje, podemos optar pelo sistema ou equipamentos utilizados em qualquer país da Europa, da América do Norte ou da Ásia. Mas cada país tem suas particularidades culturais e qualificação diferenciada da mão-de-obra que determinam a opção estrutural e processo produtivo. O nosso processo usual, comparado aos dos outros países, ainda é pouco industrializado, artesanal, com mínima utilização de equipamentos de transporte, tais como as gruas e guindastes. Mesmo assim, eu diria que nos últimos 35 anos, ou seja, depois que o eng. Toshio Ueno começou a estudar a fôrma, o nível tecnológico deu saltos na evolução. Hoje, a fôrma é assunto para especialistas, normalmente engenheiros civis com larga experiência na produção de estrutura e até doutores em fôrma. Isto porque, houve a percepção da sua importância, e também, da sua representatividade nos custos da obra, que gira em torno de 7%.

---

*IBRACON: Quais os problemas enfrentados pelo setor de sistemas de fôrmas no mercado nacional? Por que a produtividade do sistema de fôrmas brasileiro não é a mesma dos países desenvolvidos?*

**ASSAHI:** A produtividade ainda não alcançou os índices dos países desenvolvidos, mas a evolução, como eu já disse, foi muito grande. Numa estrutura predial, mesmo com partido que não favorece a produtividade, com pilares, vigas e lajes com dimensões reduzidas, é possível executá-la com índices que variam entre 0,50 a 1,00 horas/m<sup>2</sup> ante a 3,00 a 4,00 horas/m<sup>2</sup> que se gastava na década de 60. Para melhorar, chegar perto dos índices dos países mais evoluídos, da ordem de 0,20 a 0,30 horas/m<sup>2</sup> basta apenas adotar os partidos

estruturais que favoreçam a produtividade, eliminando-se as vigas, projetando-se somente com pilares e lajes e com padronização de medidas. A farta utilização dos equipamentos de transportes também é essencial para melhorar a produtividade.

Os problemas enfrentados pelo setor de sistemas de fôrmas são justamente estes. A maioria deles tem origem européia e os seus equipamentos são adequados para a estrutura que eles praticam no seu país de origem. Para se adaptar ao do Brasil é necessário fazer várias modificações, como fundos falsos ou caixões perdidos, perdendo a competitividade.

---

*IBRACON: Então, o que precisa ser feito pelo setor no sentido de melhorar a adequabilidade no uso do sistema de fôrmas? As empresas de fôrmas no Brasil precisam padronizar seus produtos? Precisam ter um corpo técnico forte para dar assistência técnica aos construtores?*

**ASSAHI:** Para se adequar aos nossos padrões de produção, existem dois caminhos: ou se modifica o partido estrutural, o que significa que a estrutura consumirá mais concreto e aço, que irá custar mais, ou se cria acessórios ou complementos que facilitam ou melhoram a sua adaptação, o que significa maior investimento por parte dos fornecedores de sistema. E ainda, não se pode esquecer que fôrma é um equipamento, e como tal, precisa de *manual de utilização* fornecido pelo fabricante. Através do correto manuseio é que se obtém os resultados esperados.

Tecnicamente, no nosso meio, chamamos esse manual de PES – Procedimento de Execução de Serviço. Todo sistema de fôrma deveria ter procedimentos rígidos integrados ao sistema, que não podem ser ignorados. Para isso é necessário permanente serviço de assistência técnica, de nível superior, para orientar toda a equipe de produção, com abrangência total, desde engenheiro residente, mestres, até os carpinteiros.

Quanto a padronização, a iniciativa não deverá ser somente por parte dos fabricantes de fôrma. É preciso que toda a cadeia produtiva siga normas de padronização, iniciando-se pelos projetistas. Se todo projeto estrutural nascer com medidas de seus elementos padronizados, conseguem-se, com certeza, resultados melhores com sistema, cujas peças serão, também, padronizadas. No entanto, cada projeto tem sua particularidade, como a medida de piso a piso ou altura de viga que variam de 1 em 1 cm. Dentro deste cenário, fica impraticável qualquer tentativa isolada, para se obter esta padronização.

E, quanto a melhoria de produtividade, vejo que é preciso passar, antes, pela melhoria do grau de qualificação dos nossos operários, entendendo-

“ Para se obter um empreendimento de qualidade, produtividade e custos competitivos é imprescindível o uso correto do sistema de fôrmas. ”

do-a como a junção da habilidade profissional com a postura profissional, ou seja, de obediência aos procedimentos, respeito a hierarquia, consciência de trabalho em equipe, etc.

Portanto, tenho a opinião de que as empresas que quiserem se destacar com serviços diferenciados precisa continuar investindo na área técnica, para desenvolvimento de novos produtos, específicos para os nossos padrões de execução e na qualificação de profissionais para assistência técnica, de nível superior.

*IBRACON: E o que precisa para melhorar a qualidade da estrutura moldada? As empresas de sistemas têm condições de garantir a qualidade esperada pelos contratantes?*

**ASSAHI:** Vejo, com satisfação, que a evolução na qualidade da estrutura, não só na sua geometria, mas principalmente na preservação das características do seu desempenho foi perceptível nas últimas décadas. É lógico que nem o projetista de fôrma, muito menos o fornecedor do sistema pode melhorar o que o projetista estrutural especificou, mas o manuseio incorreto da fôrma pode piorá-lo muito. Para isso, o assistente técnico deve trabalhar, não somente na orientação da montagem, mas para auxiliar na conscientização da necessidade de cuidados básicos, tais como a tratamento de juntas, cura do concreto, estanqueidade da fôrma, enfim, em todos os quesitos que fazem parte dos procedimentos de boa execução da estrutura de concreto. Isto porque, um assistente técnico, muitas vezes é conduzido a exercer o papel de consultor de execução da estrutura por falta de um técnico específico para este fim. É desejável, portanto que ele domine, não somente os conhecimentos pertinentes de montagem do sistema, mas também, dos procedimentos e cuidados básicos necessários para correta execução da estrutura de concreto.

*IBRACON: É possível preservar todas as características de desempenho projetado com execução da estrutura com ciclo de 1 laje/semana como acontece, principalmente, em S. Paulo?*

**ASSAHI:** O eng. Toshio Ueno, nos fins da década de 60, introduziu o conceito de reescoramento para possibilitar a execução da laje com ciclo de 1 laje/semana, utilizando-se apenas 1 jogo de fôrma. Todos diziam, na época, que era ousadia, quase no limite do razoável. Mas, com todas as análises cuidadosas e estudos técnicos que o embasava, dava a confiabilidade necessária para se tornar uma prática comum nos dias de hoje. Atualmente, nós temos maior acesso aos conhecimentos do comportamento de concreto na sua fase de cura, como também, ferramentas, como computador,

para aprimorar os cálculos matemáticos. Com estas facilidades, digo hoje, que é uma ousadia, quase no limite do razoável. O projetista de fôrma, além dos conhecimentos pertinentes para projetá-la, deve estudar o comportamento e as características de resistência e deformabilidade do concreto ao longo do tempo, como também, de todos os equipamentos e materiais que compõem o sistema de fôrma. É um assunto relevante e muito complexo. Esta revista (Revista IBRACON - abril/junho de 98) publicou um

estudo assinado pela equipe do Dep. de Engenharia de Estrutura da EE de S. Carlos-USP (Profs. Almeida Prado, Ramalho e Correa) num trabalho onde faz algumas alertas sobre o assunto. Eles concluem que as "ações construtivas que surgem em decorrência da execução são bastante diferentes das ações normalmente consideradas nos projetos e que elas atuam em idades iniciais do concreto, antes de seu total amadurecimento, sendo responsáveis por diversos casos de colapso estrutura". É

necessário, portanto, a consciência de que estamos praticando processo tecnicamente consagrado, mas que não permite erros, sob pena de prejudicar o comportamento da estrutura para sempre, ou até mesmo, derrubá-la.

*IBRACON: Como é o relacionamento e a comunicação entre o especialista em projetos de fôrmas e os demais agentes da cadeia produtiva do concreto (projetistas; construtores; mestre-de-obra; mão-de-obra)? Quais os critérios do projeto de fôrmas e como tais critérios são entendidos e viabilizados pelos demais agentes?*

**ASSAHI:** Eu tenho certa facilidade em relacionar-se, tanto com outros projetistas como também com a equipe de obra, mesmo porque iniciei a minha carreira profissional como projetista estrutural e depois, como engenheiro de campo por 10 anos, antes de atuar como projetista de fôrma. Em muitas construtoras tenho a oportunidade de participar do processo de elaboração dos projetos desde o início, desde o estudo da pré-fôrma, junto com projetista estrutural, embora não seja, ainda, regra geral. Nestas reuniões faço sempre o papel do executor, que com verbas limitadas e com prazos apertados, precisa executá-la. A minha visão é sempre de proporcionar boa construtibilidade, resolvendo os problemas estruturais com elementos de geometrias simples e repetitivas para facilitar a produção. Os resultados sempre têm sido diferenciados, na produtividade e no custo. Quanto ao relacionamento com pessoal de obra, com mestres e carpinteiros, é o que me dá maior motivação pela potencialidade de melhoria que pode proporcionar. Parto sempre do princípio de que não tem equipe incompetente, mas mal instruída e mal treinada. As palestras de treinamento no canteiro de obra, indispensáveis, têm dado retornos, muitas vezes, acima das expectativas.

“ Estamos praticando processo tecnicamente consagrado, mas que não permite erros, sob pena de prejudicar a estrutura. ”

**IBRACON:** *Quais são os tipos de sistemas de fôrmas e quais os critérios de preferência de um relativamente aos outros?*

**ASSAHI:** Definimos sistema como conjunto completo, incluindo a própria fôrma, cimbramento e todos os acessórios necessários para a montagem. O mais comum, nas obras prediais, é o sistema misto, ou seja, a fôrma em madeira compensada reforçada com sarrafos e cimbramento metálico, em torres ou escoras metálicas, normalmente alugadas e acessórios metálicos, normalmente adquiridas. Existem sistemas completos, de madeira, fornecidos pela empresas madeireiras ou metálicas das empresas de equipamentos, algumas multinacionais. O critério para escolha é adequabilidade, vista sob óptica sistêmica. A fôrma precisa ter características de praticidade, eficiência e durabilidade adequadas à tipologia da estrutura que se pretende executar. Deve, também, atender quesitos que vêm das outras necessidades, das que provêm das condições do canteiro, região em que se encontra, equipamentos de transporte disponíveis, logística, etc. Evidente que o seu custo é, um dos fatores determinantes, embora muitas pessoas confundem o custo com preço inicial, de aquisição. Há necessidade de estudo minucioso para apurar o seu custo, pois ele é a somatória de vários, de aquisição ou locação, de operação, de manutenção e outros indiretos, não sendo o inicial, o único e nem o mais representativo.

**IBRACON:** *Quais são as tendências do setor em termos mercadológicos e tecnológicos? Houve um recuo do setor brasileiro da construção civil no uso do sistema de fôrmas? Por quê? Essa tendência pode ser revertida? Como?*

**ASSAHI:** A tendência será sempre estabelecida pelo mercado. O avanço tecnológico, até agora, foi em função da necessidade e solicitação dos construtores, pressionadas pela acirrada concorrência que exige dos fornecedores avanços na tecnologia para se encontrar o melhor equilíbrio da qualidade, prazo e custo. E acredito que continuará a ser o propulsor necessário, não somente no setor de sistema de fôrma, mas em todos os setores da cadeia produtiva.

Por outro lado, o avanço não se estabelece apenas com o desenvolvimento tecnológico do sistema, mas paralelamente com a qualificação da nossa mão-de-obra.

Não vejo recuo, como você mencionou, no uso do sistema de fôrmas industrializadas, mas também, não vejo muito esforço, por parte das

construtoras, em utilizá-lo mais do que vêm utilizando. Vejo, sim, que na medida em que a tipologia da estrutura sofre mudanças, o que deverá acontecer, pressionada pelas mudanças na representatividade dos preços dos insumos que o compõem e, principalmente, da mão-de-obra e dos equipamentos, haverá, com certeza, maior procura pelos sistemas industrializados na tentativa de encontrar outro ponto de equilíbrio.

Para reverter e acelerar estas tendências é necessário que os empresários do setor trabalhem com maior abrangência. Aqueles que trabalham com sistema com predominância no uso de madeira, deve participar, junto com associações dos fornecedores de madeira para melhorar os seus serviços, como também, aqueles que trabalham com sistemas metálicos, pesados, que precisam da utilização de algum equipamento específico, por exemplo a grua, deve trabalhar junto com empresários do setor para proporcionar ao contratante reais vantagens técnicas e econômicas, muitas vezes imperceptíveis a não especialistas.

**IBRACON:** *Como você vê o papel do IBRACON na melhoria de projeto e execução de fôrmas no país?*

**ASSAHI:** Embora eu seja sócio recente do IBRACON, venho acompanhando o seu trabalho de longa data. Alguns dos seus artigos técnicos publicados têm sido base para melhoria no processo de produção da estrutura, ora, mediante adoção de valores diferenciados conforme às características do concreto, ora, através de adoção de maiores cuidados operacionais. Acredito que, também para outros profissionais que lidam com concreto, é de fundamental importância a existência de um instituto, de alta credibilidade como é o IBRACON, para se referenciar e desenvolver seus trabalhos.

O concreto, mesmo com características especiais, desenvolvido com tecnologia de ultima geração, terá efetivo valor à sociedade a partir do momento em que, compondo-se com aço e fôrma, se tornar uma estrutura diferenciada, particular, inédita. Portanto, para os projetistas estruturais e de produção, especificamente de fôrma e cimbramento, acompanhar as evoluções promovidas no concreto é uma necessidade profissional. Por exemplo, a fôrma para concreto auto-adensável deverá ser diferenciada da tradicional, tanto no dimensionamento dos empuxos quanto na necessidade da perfeita

estanqueidade, necessidades que só se descobre através das publicações especializadas, como é o da IBRACON, ou após um fracasso na sua moldagem.

“ O concreto consolida seu valor social na medida em que, com o aço e a fôrma, compõe uma estrutura diferenciada e inédita. ”

# Betão com Agregados Grossos Reciclad<sup>o</sup>s de Betão

José Roberto Santos,  
Prof. Assistente ICIST;  
Fernando Branco,  
Prof. Catedrático ICIST;  
Nuno Almeida,  
Eng. Civil ICIST. Portugal

## Resistência à Compressão e Módulo de Elasticidade

Em qualquer processo de fabrico industrial a geração de resíduos é inevitável. Não existindo tecnologia apropriada para a reutilização ou a reciclagem dos resíduos, estes serão depositados de uma forma desordenada, o que gera inúmeros problemas para o meio ambiente.

A construção civil é o maior gerador de resíduos de toda a sociedade, além de ser responsável por cerca de 40% do consumo de recursos naturais extraídos [1]. Entre os resíduos gerados pela construção civil, os resíduos de betão são os que apresentam maior potencial de reciclagem, pelo conhecimento das suas propriedades básicas e da menor heterogeneidade e contaminação com outros materiais, quando comparados com outras fracções minerais dos resíduos da construção.

A utilização de agregados reciclados de resíduos de betão na produção de novos betões contribuirá quer para a preservação de recursos naturais não renováveis, quer para a diminuição do volume de resíduos depositados em aterros [2].

Nesta comunicação apresentam-se os resultados de uma campanha experimental realizada no IST, com o intuito de avaliar a resistência à compressão e o módulo de elasticidade de betões produzidos com agregados grossos reciclados de betão. Para tal, moldaram-se provetes com um betão de referência, com agregados grossos naturais, e dois betões com agregados grossos reciclados de um betão original produzido em laboratório, em substituição volumétrica de 50 e 100% dos agregados grossos naturais. Para cada tipo de betão avaliou-se a variação da resistência à compressão e do módulo de elasticidade com a relação água/cimento, comparando-se os resultados. Para os betões com agregados reciclados estudou-se também a variação daquelas propriedades mecânicas com o teor de agregados reciclados.

### Campanha experimental

#### Considerações introdutórias

O objectivo deste trabalho de investigação consistiu em avaliar a influência da incorporação de agregados grossos reciclados de betão (AGR), em substituição dos agregados grossos naturais (AGN), na resistência à compressão e no módulo de elasticidade de novos betões.

Os agregados reciclados foram produzidos a partir de um betão original moldado em laboratório. Para a trituração do betão original utilizou-se um triturador de maxilas.

Em conformidade com as dimensões da boca de alimentação do triturador, foram moldados elementos de betão com geometria semi-cilíndrica, de aproximadamente 12 cm de diâmetro (Fig.1).

Após a desmoldagem, as peças de betão foram colocadas numa câmara de cura húmida, durante 30 dias, até a data da trituração.



Fig.1 - Elementos de betão no triturador

## Metodologia na Produção dos Betões

Neste trabalho experimental foram produzidos três tipos de betão: um betão de referência com agregados naturais (BAGN), um betão com teor de incorporação de agregados grossos reciclados de 50% (BAGR50), em volume, e outro betão com teor de agregados grossos reciclados de 100% (BAGR100), também em volume. Para cada tipo de betão foram projectadas três composições com diferentes relações água/cimento ( $a/c$ ), sendo  $a_c$  a quantidade total de água utilizada nas amassaduras.

Em cada tipo de betão, as proporções dos materiais constituintes foram determinadas de acordo com a técnica proposta por Helene [3], na qual são definidos os seguintes parâmetros:

$$m = a + p \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{1 + a}{1 + m} \times 100 \quad (2)$$

em que:

- m** - relação agregados secos/cimento, em massa;
- a** - relação agregados finos secos/cimento, em massa;
- p** - relação agregados grossos secos/cimento, em massa;
- $\alpha$**  - teor de argamassa seca, em termos percentuais.

Para o BAGN, inicialmente, acertou-se experimentalmente o teor ideal de argamassa para um traço intermédio, ou seja,  $m$  igual a 5. Conhecidos os valores de  $\alpha$  e  $m$ , foi possível determinar  $a$  e  $p$ , necessários para determinar os consumos em massa de agregados finos e grossos.

A relação  $a/c$  foi determinada experimentalmente em função do abaixamento pretendido, no caso,  $70 \pm 10$  mm. Através da amassadura experimental avaliou-se também o consumo de cimento por  $m^3$  de betão ( $C$ ), utilizando-se a seguinte expressão:

$$C = \frac{\gamma_f}{1 + a + p + at/c} \quad (3)$$

onde:  $\gamma_f$  - massa volúmica do betão fresco, obtida experimentalmente.

As outras duas composições relativas ao BAGN foram concebidas para valores de  $m$  de 3,5 e 6,5, referentes a betões com resistência à compressão superior e inferior, respectivamente, em relação à composição com  $m$  igual a 5.

Para estas duas composições manteve-se o teor ideal de argamassa determinado na mistura com  $m$  igual a 5, bem como o abaixamento de  $70 \pm 10$  mm. A partir das composições do BAGN, foram projectadas as composições do BAGR50 e do BAGR100, mantendo-se constante o abaixamento e a relação agregados finos/cimento. As massas de AGR foram ajustadas de forma a que os BAGR50 e BAGR100 tivessem o mesmo volume de agregados grossos do BAGN. Isto foi feito em função dos valores das massas volúmicas do material seco dos AGN e AGR.



Fig.2 - Mistura dos agregados reciclados com a água

Quando os agregados reciclados de betão na condição seco ao ar são misturados com pasta de cimento ou argamassa, supõe-se que absorverão parte da água que é adicionada durante a amassadura do betão [4].

Como a utilização de agregados reciclados na condição saturados superfície seca é muito difícil, decidiu-se usá-los no estado seco ao ar e avaliar o coeficiente de absorção efectivo, de acordo com uma técnica desenvolvida por Barra [5].

Os AGR foram inicialmente misturados com a água (Fig.2) durante um certo intervalo de tempo e posteriormente foram acrescentados cimento e areia, nesta ordem.

Segundo aquela técnica, na data das amassaduras, montaram-se provetes com AGR e misturaram-se manualmente os mesmos com uma quantidade de água proporcional à utilizada nas betonagens. Nesta simulação, os AGR estiveram em contacto com a água por um período igual ao adoptado nas amassaduras.

A partir do coeficiente de absorção efectivo dos agregados grossos reciclados, determinou-se para os AGR50 e AGR100 a relação água/cimento efectiva ( $a/c$ ), considerando a quantidade de água efectiva na pasta, sendo que aquela foi posteriormente relacionada com a resistência à compressão e o módulo de elasticidade dos betões.

## Materiais

### Cimento

Na produção quer do betão original, quer dos BAGN, BAGR50 e BAGR100 utilizou-se cimento do tipo CEM II/B-L 32,5, com massa volúmica de  $3,04 \text{ g/cm}^3$  e superfície específica de  $3866 \text{ cm}^2/\text{g}$ .

### Agregados

Em todos os tipos de betão foi utilizado como agregado fino uma areia rolada obtida a partir de depósitos localizados junto ao rio Tejo, com granulometria  $0,149/2,38$  mm. Em relação aos agregados grossos naturais optou-se por duas britas de origem calcária, uma brita 2 com granulometria  $9,51/19$  mm e uma brita 1 com granulometria  $4,76/12,7$  mm. Saliente-se que foram utilizados nos betões original, BAGN e BAGR50, agregados grossos naturais da mesma procedência.

Para a produção dos agregados grossos reciclados, foi moldado em laboratório um betão original com a seguinte composição, definida com base em [3]:

Cimento = 362 kg/m<sup>3</sup>, brita 2 = 717 kg/m<sup>3</sup>,  
 brita 1 = 478 kg/m<sup>3</sup>, areia = 615 kg/m<sup>3</sup>,  
 a<sub>v</sub>/c = 0,52

Com esta composição, o abaixamento obtido foi 70±10 mm e para a tensão de rotura à compressão atingiram-se os valores de 21 MPa aos 7 dias e 29,6 MPa aos 28 dias.

## Análise de Resultados

### Caracterização dos Agregados

Os resultados dos ensaios de caracterização dos agregados apresentam-se no Quadro 2. Da análise do Quadro 2, pode-se concluir que os AGR apresentavam valores superiores de absorção de água e inferiores de massas volúmicas e baridade, comparativamente com os dos AGN. Isto resulta da argamassa do betão original ligada àqueles [2].

Quadro 1 - Composições dos betões

BETÃO	CIMENTO (kg/m <sup>3</sup> )	BRITA 2 NATURAL (kg/m <sup>3</sup> )	BRITA 1 NATURAL (kg/m <sup>3</sup> )	BRITA 2 RECICLADO (kg/m <sup>3</sup> )	BRITA 1 RECICLADO (kg/m <sup>3</sup> )	AREIA (kg/m <sup>3</sup> )	a <sub>v</sub> /c
BAGN m =3,5	491	727,8	485,2	-	-	506	0,41
BAGN m =5	367	726,6	484,4	-	-	624	0,51
BAGN m =6,5	291	719,4	479,6	-	-	693	0,63
BAGR50 m =3,35	492	363	242	321,6	214,4	507	0,45
BAGR50 m =4,83	368	364,2	242,8	326,8	217,8	626	0,55
BAGR50 m =6,29	293	364,2	242,8	323,4	215,6	697	0,70
BAGR100 m =3,22	493	-	-	648	432	508	0,49
BAGR100 m =4,64	370	-	-	652,8	435,2	629	0,59
BAGR100 m =6,06	295	-	-	651,6	434,4	702	0,74

### Composições dos Betões

Para limitar o número de variáveis quando da análise dos resultados, optou-se por utilizar os AGR com a mesma composição granulométrica dos AGN. As composições dos nove tipos de betão estão apresentadas no Quadro 1.

Em relação às propriedades relacionadas com a resistência dos agregados grossos, conclui-se que os AGR tinham resistência ao esmagamento e ao desgaste inferiores às dos AGN (para a brita 1, 21% nas duas propriedades, e no caso da brita 2, 67% para o esmagamento e 95% para a perda por desgaste). No entanto, os valores dos AGR cumpriam os limites regulamentares para agregados destinados à produção de betão estrutural [6].

Quadro 2 - Propriedades dos Agregados

PROPRIEDADE	AREIA	BRITA 1	BRITA 2	BRITA 1 RECICLADA	BRITA 2 RECICLADA
Absorção de água (%)	0,6 NP 954	1 NP 581	0,5 NP 581	7 NP 581	5,5 NP 581
Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	2536 NP 954	2640 NP 581	2617 NP 581	2250 NP 581	2316 NP 581
Massa volúmica impermeável (kg/m <sup>3</sup> )	2575 NP 954	2713 NP 581	2652 NP 581	2667 NP 581	2657 NP 581
Massa volúmica saturado superfície seca (kg/m <sup>3</sup> )	2561 NP 954	2667 NP 581	2630 NP 581	2407 NP 581	2445 NP 581
Baridade (kg/m <sup>3</sup> )	1545 NP 954	1583 NP 955	1587 NP 955	1294 NP 955	1342 NP 955
Esmagamento (%)	-	28 NP 1039	18 NP 1039	34 NP 1039	30 NP 1039
Perda por desgaste Los Angeles (%)	-	33 E 237	20 E 237	40 E 237	39 E 237
Máxima dimensão (mm)	2,38 NP 1379	12,7 NP 1379	19 NP 1379	12,7 NP 1379	19 NP 1379

## Propriedades do Betão Fresco

O Quadro 3 apresenta os resultados das propriedades avaliadas no estado fresco para todos os tipos de betões. Saliente-se que as misturas correspondentes a todos os betões foram preparadas seguindo a mesma metodologia.

Quadro 3 - Propriedades do betão fresco

BETÃO	Massa Volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	a <sub>t</sub> /c	a/c
BAGN (m=3,5)	2410	0,41	0,41
BAGN (m=5)	2389	0,51	0,51
BAGN (m=6,5)	2365	0,63	0,63
BAGR50 (m=3,35)	2362	0,45	0,45
BAGR50 (m=4,83)	2348	0,55	0,52
BAGR50 (m=6,29)	2341	0,70	0,65
BAGR100 (m=3,22)	2322	0,49	0,44
BAGR100 (m=4,64)	2305	0,59	0,52
BAGR100 (m=6,06)	2301	0,74	0,64

No Quadro 3 estão também apresentados os valores de a/c, calculados para os BAGR em função do coeficiente de absorção efectivo dos AGR.

O BAGN foi produzido para um valor de  $\alpha$  igual a 45%, sendo que para os BAGR50 e BAGR100 aquele valor era ligeiramente superior em função dos ajustes feitos nas massas de AGR.

Com base nos resultados apresentados no Quadro 3, conclui-se que a massa volúmica dos betões com AGR era inferior à dos betões com AGN, e que aquela diminuía com o aumento do teor de AGR. Isto advém dos valores inferiores da massa volúmica dos agregados reciclados.

## Propriedades Mecânicas

A tensão de rotura à compressão foi avaliada de acordo com a especificação LNEC E226 e a norma NP 1383, enquanto que para o módulo de elasticidade utilizou-se a especificação LNEC E397.

No Quadro 4 apresentam-se os resultados das propriedades mecânicas dos betões avaliadas experimentalmente neste trabalho de investigação, nomeadamente a tensão de rotura à compressão aos 7 ( $f_{cm,7}$ ) e 28 dias ( $f_{cm,28}$ ) e o módulo de elasticidade aos 35 dias ( $E_c$ ).

Quadro 4 - Propriedades Mecânicas dos Betões

BETÃO	$f_{cm,7}$ (MPa)	$f_{cm,28}$ (MPa)	$E_c$ (MPa)
BAGN (m=3,5)	26,8	43,3	33,9
BAGN (m=5)	23	35,2	30,5
BAGN (m=6,5)	15	23,9	26,4
BAGR50 (m=3,35)	29,6	40,5	29,9
BAGR50 (m=4,83)	22	32,8	27,8
BAGR50 (m=6,29)	15,9	23,6	24,9
BAGR100 (m=3,22)	23,7	37,9	26,3
BAGR100 (m=4,64)	19,4	31,2	24,5
BAGR100 (m=6,06)	15,1	22,8	19,5

## Resistência à Compressão

Em relação a resistência à compressão, da análise do Quadro 4 pode-se afirmar que os BAGR apresentaram de uma forma geral valores inferiores, quer aos 7, quer aos 28 dias. Comprovou-se também que as diferenças aumentavam com a diminuição dos valores de a/c e com o aumento do teor de AGR [7].

Com os valores de  $f_{cm,28}$ , construiu-se um diagrama (diagrama de dosagem), relacionando estes com a/c, a/c com m e m com C (Fig.3), para o BAGN e os BAGR.

Com base no diagrama da Fig.3 pode-se concluir que:

- ◆ a variação de  $f_c$  com a/c para os BAGR segue também a lei de Abrams, do tipo exponencial, tal como os BAGN (obtiveram-se coeficientes de determinação superiores a 0,98);
- ◆ para um mesmo valor de a/c, os valores de  $f_c$  o BAGR100 são sempre inferiores aos do BAGN, sendo que a diferença aumenta com a diminuição do valor de a/c (para a/c = 0,4 a diferença é de 8% e para a/c = 0,7 a diferença passa a 3%);
- ◆ comparando o BAGR50 com o BAGN, o valor de  $f_c$  do primeiro é 4% inferior ao do segundo para a/c = 0,4, e a partir de a/c = 0,5 os valores de  $f_c$  são praticamente iguais;
- ◆ em relação ao consumo de cimento (C), por exemplo, para se atingir um valor de  $f_c$  de 30 MPa seria necessário um consumo de cimento 4% superior para o BAGR50 e 10% superior para o BAGR100, em relação ao necessário para o BAGN.

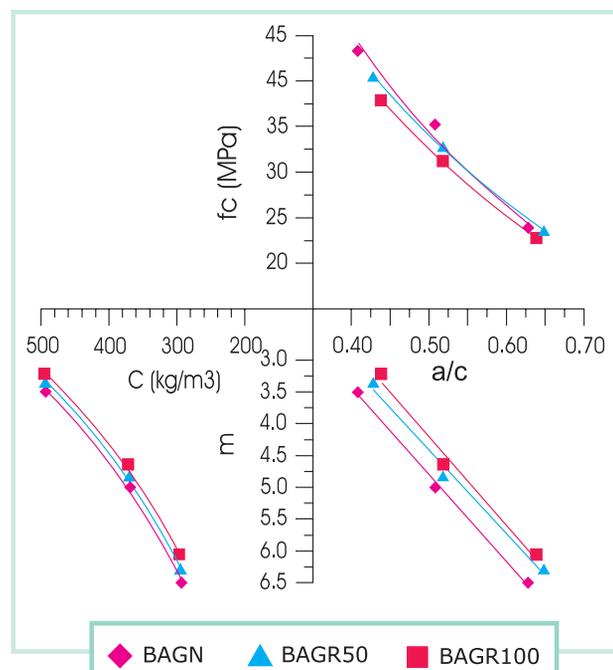


Fig.3 - Diagrama de dosagem para  $f_{cm,28}$

## Módulo de Elasticidade

No tocante ao módulo de elasticidade, com os valores do Quadro 5, construiu-se um diagrama similar ao da Fig.3, indicando no 1º quadrante a variação de  $E_c$  com  $a/c$  (Fig.4).

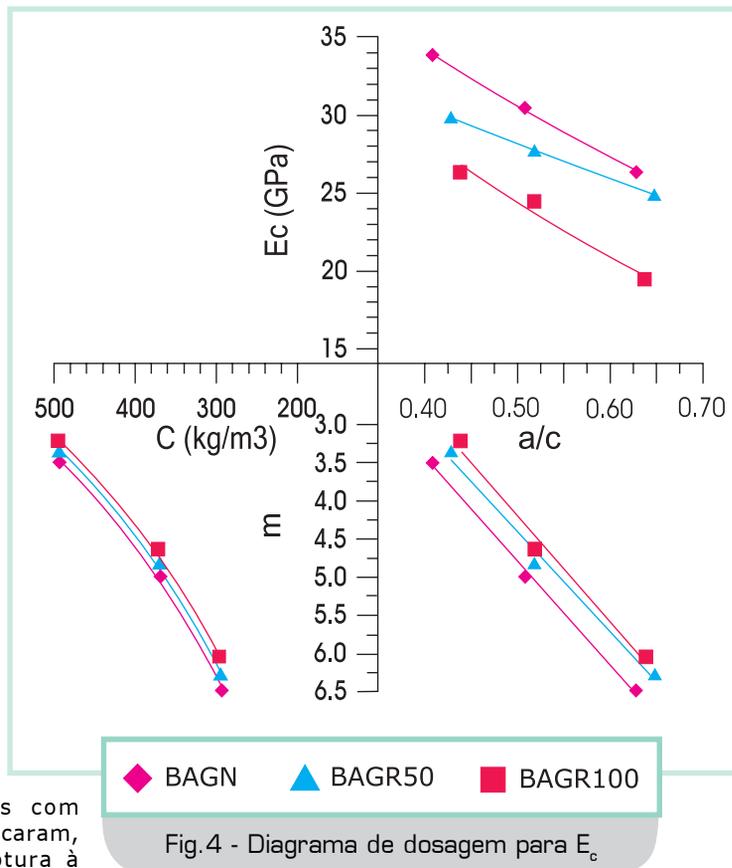
Do diagrama da Fig.4 podem ser retiradas as seguintes conclusões:

- ◆ nota-se claramente o efeito da presença de AGR nos valores de  $E_c$ , diminuindo o valor destes em relação ao do BAGN, devido à menor rigidez dos AGR em relação aos AGN, resultante da maior porosidade e consequente menor massa volúmica daqueles [8];
- ◆ para um mesmo valor de  $a/c$ , os valores de  $E_c$  dos BAGR são sempre inferiores aos do BAGN, sendo que para  $a/c = 0,45$  tem-se um valor de  $E_c$  de 29,4 GPa para o BAGR50 e de 26,4 GPa para o BAGR100, respectivamente 10 e 23% inferiores ao do BAGN (32,5 GPa).

## Conclusões

Os ensaios em betões produzidos com agregados grossos reciclados de betão indicaram, para um betão original com tensão de rotura à compressão aos 28 dias igual a 29,6 MPa, valores de resistência à compressão e módulo de elasticidade inferiores aos de um betão de referência. Para ambas as propriedades avaliadas, a diferença em relação aos valores de referência aumenta para valores superiores do teor de agregados.

Em termos das propriedades estudadas, é viável o emprego dos agregados grossos reciclados na produção de betão estrutural, embora em relação à deformabilidade, possa ser conveniente, dependendo da estrutura, a utilização de teores de agregados reciclados inferiores a 50%.



## Agradecimentos

Os autores manifestam o seu agradecimento ao financiamento concedido pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) ao projecto "Gestão Integrada dos Resíduos de Construção e Demolição", com referência POCTI/ECM/43057/2001.

## Referências

- [1] Angulo, S. & outros. *Metodologia de Caracterização de Resíduos de Construção e Demolição*. VI Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, Out/2003, São Paulo.
- [2] Santos, J. R.; Branco, F. & Brito, J. *Utilização de Agregados Reciclados de Betão na Produção de Novos Betões*. Estruturas 2002 - Congresso Nacional da Engenharia de Estruturas, Jul/2002, Lisboa, pp.227-236.
- [3] Helene, P. & Terzian, P. *Manual de Dosagem e Controle do Concreto*. São Paulo, 1ª edição Pini, 1993.
- [4] de Pauw, P. & outros. *Shrinkage and Creep of Concrete With Recycled Materials as Coarse Aggregates*. Sustainable Construction - Use of Recycled Concrete Aggregate, Nov/1998, Londres, pp.213-225.
- [5] Barra, M. *Estudio de la Durabilidad del Hormigón de Árido Reciclado en su Aplicación como Hormigón Armado*. Dissertação de Doutoramento, UPC, 1996.
- [6] EN 12620. *Aggregates for Concrete*. Bruxelas, 2002.
- [7] Gómes, J. M. *Comportamiento Tenso Deformación, Instantâneo Y Diferido de Hórmigon con Árido Reciclado*. Dissertação de Doutoramento, UPC, 2002
- [8] Levy, S.M. *Contribuição ao Estudo da Durabilidade dos Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Alvenaria e Concreto*. Universidade de São Paulo. Dissertação de Doutoramento. 2001

A linha mais completa de produtos químicos para construção civil.

<p><b>Aditivos para Concreto</b></p>					
			<p><b>Reparo, Reforço e Proteção Estrutural</b></p>		
<p><b>Impermeabilizante Selantes e Vernizes</b></p>					
				<p><b>Pisos Industriais: Resinados e Cimentícios</b></p>	
	<p><b>Microcimentos para Injeções e Caldas de Solos e Túneis</b></p>		<p><b>Pensou em química....</b></p>		
<p>Degussa Construction Chemicals Brasil Rua Costa Barros, 3089 - São Paulo SP Fone 11 6108-5555 - Fax: 11 6108-5500 www-degussa-cc.com.br</p>				<p><b>Pensou Degussa!</b></p>	

Líder mundial em produtos químicos para construção civil.

# Fôrma com molde em madeira:

Antonio Carlos Zorzi  
Mestre em Engenharia  
Gerente de Operações da Cyrela Construtora

## Recomendações para redução de custos com melhoria da qualidade e da produtividade

Concreto, armadura e sistema de fôrma são os três componentes básicos de uma estrutura de concreto armado. Os dois primeiros são denominados componentes permanentes, por ficarem agregados à estrutura, enquanto o sistema de fôrma é denominado de temporário por permanecer na estrutura somente durante o período necessário para cumprir as funções para as quais se destina.

Neste artigo os elementos que compõem o sistema de fôrma estão classificados como **molde** – *parte do sistema que dá o formato à peça, entrando em contato com a superfície do concreto* – e como **cimbramento** – *conjunto de elementos que absorvem e transferem para um local seguro as cargas que atuam nas fôrmas*.

O custo do sistema de fôrmas é suscetível a vários fatores, sendo muito representativos o número de reaproveitamento dos materiais, a produtividade da mão-de-obra e o prazo de execução. Em diversas bibliografias consultadas, verificou-se que o custo do sistema de fôrma – incluindo também a mão-de-obra de montagem e retirada das fôrmas e do escoramento e o transporte do cimbramento – situa-se entre 30% e 45% do custo da estrutura de concreto armado, verificando-se caso onde chegou a representar 59%. Predominantemente, o sistema de fôrma aparece como o componente de maior peso no custo da estrutura.

Este artigo tem como objetivo propor diretrizes para a racionalização do molde de madeira de sistema de fôrmas empregados na execução de estruturas de concreto armado de edifícios multipavimentos construídos pelo processo convencional – estrutura de concreto armado moldada no local –, resultando no atendimento da qualidade prevista em projeto, no incremento do número de reaproveitamento do molde, no incremento da produtividade da mão-de-obra de montagem e de retirada das fôrmas e do escoramento e, conseqüentemente, na redução do custo.

Para atingir o objetivo, o artigo discorre sobre quatro itens de elevada influência na obtenção dos resultados propostos:

### A influência do projeto arquitetônico e do lançamento estrutural na construtibilidade e no reaproveitamento dos materiais componentes da fôrma.

Um projeto com boa característica de construtibilidade é o que considera atentamente o método construtivo a ser utilizado na construção do edifício e os condicionantes práticos que atuam neste processo. Este conceito é de fundamental importância para os projetistas, mesmo sabendo que qualquer edifício tem requisitos gerais que exigem aceitar piores características de construtibilidade.

No desenvolvimento de projetos de estruturas de concreto armado é comum objetivar-se obter a menor dimensão estrutural dos elementos constituintes da estrutura (pilares, vigas e lajes) e o menor consumo de armadura para resistir ao carregamento. Tal objetivo parte da percepção de que quanto menor for a quantidade de concreto e aço (que efetivamente ficam permanentes) menor será o custo da estrutura. Entretanto este tipo de abordagem por parte dos projetistas estruturais negligencia o impacto do custo do molde da fôrma e do cimbramento, que compõem a estrutura temporária de suporte e que devem ser fabricados e instalados para suportar os materiais permanentes nas primeiras idades. O foco colocado apenas na economia dos materiais permanentes, com pequena ou sem consideração da estrutura temporária (sistema de fôrma), poderá aumentar o custo da estrutura de concreto armado.

Para que se obtenham as características de construtibilidade no projeto estrutural várias ações são recomendadas, como as exemplificadas a seguir:

- ◆ o construtor atuar no papel de “**projetista do processo construtivo**” na fase de desenvolvimento de projetos;
- ◆ arquiteto e engenheiro projetista estrutural trabalharem em sintonia;

- ◆ conhecer as características construtivas comumente adotadas pela Construtora, como também o que está sendo planejado para o edifício objeto do projeto em desenvolvimento, como: planos de execução e etapas de concretagem; tipos de equipamentos a serem empregados (para o transporte vertical e horizontal); possibilidade de emprego de elementos estruturais pré-fabricados; disponibilidade própria ou preferência de locação de determinado tipo de fôrma e/ou de cimbramento. Como exemplo, caso o planejamento da execução da estrutura estabeleça a técnica de concretagem de "pilares solteiros", prever no lançamento estrutural largura da viga igual à largura do pilar (figura 1b).

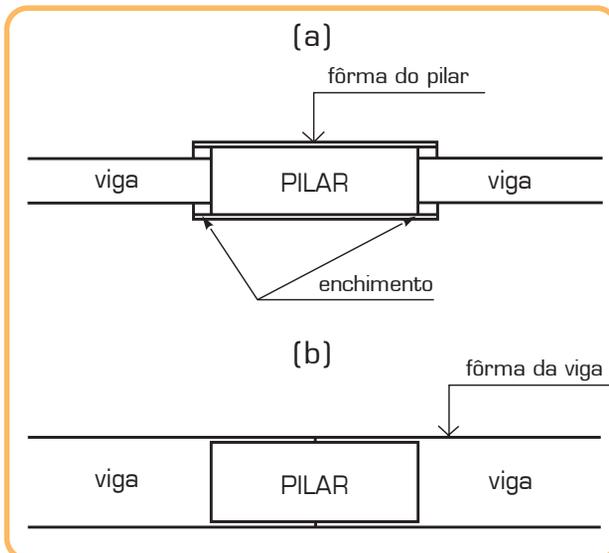


Figura 1 - (a) viga com largura diferente do pilar. Necessário enchimento na fôrma do pilar ou da viga; (b) viga com largura igual à do pilar. Solução mais racional para a fôrma quando a alternativa construtiva for a de pilar "solteiro".

- ◆ manter fixas as dimensões da seção transversal de pilares, da fundação até a cobertura, ou, se for impraticável, pelo maior número de pavimentos possíveis. Alterar estas dimensões significa substituir e/ou reformar não apenas os painéis da fôrma dos pilares, como também os das vigas que chegam nestes pilares e os das lajes ao redor;
- ◆ procurar manter, entre pavimentos consecutivos, constantes a largura e a altura das vigas (esta última no trecho entre o fundo da viga e o fundo da laje - figura 2b), de modo a permitir o reaproveitamento dos painéis de fundo e painéis laterais das vigas nos pavimentos sobrejacentes, além de não alterar as dimensões dos painéis de fôrma de pilares, lajes e sistema de travamento dos fundos de vigas;
- ◆ evitar ao máximo o uso de transições na estrutura, devido aos elevados desperdícios de tempo físico, de materiais e de mão-de-obra. Os materiais empregados na fôrma de uma estrutura de transição normalmente apresentam uma única utilização. Se considerarmos que  $1\text{m}^3$  de concreto corresponde a, aproximadamente,  $10\text{m}^2$  de área de contato de fôrma e, ainda, que o custo deste  $\text{m}^2$  do molde da

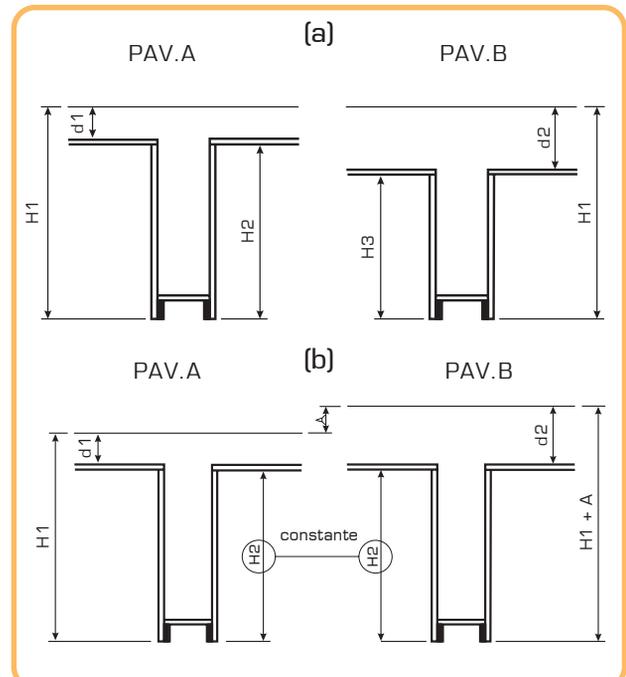


Figura 2 - (a) manutenção da altura total da viga com alteração da espessura da laje (entre pavimentos consecutivos); (b) manutenção da altura da viga entre seu fundo e o fundo da laje (entre pavimentos consecutivos) permitindo o reaproveitamento dos painéis laterais e do cimbramento da viga e mantendo inalterado o painel do pilar que recebe a viga.

fôrma seja da ordem de R\$ 45,00/ $\text{m}^2$ , somente o custo do material molde será de R\$ 450,00 por  $\text{m}^3$  de concreto, devido ao não reaproveitamento (único uso);

- ◆ priorizar o formato retangular para os pilares;
- ◆ analisar cada uma das plantas da pré-fôrma estrutural de todos os pavimentos, na sequência de execução da estrutura, procurando visualizar o que estará acontecendo com a movimentação da fôrma entre pavimentos subsequentes, propondo eventuais alterações que otimizem o reaproveitamento. Esta ação pode refletir em resultados expressivos de otimização;
- ◆ calcular os índices relacionados abaixo e que, de certo modo, representam a construtibilidade da fôrma do pavimento (estes índices não representam o reaproveitamento da fôrma entre pavimentos consecutivos). Quanto menores forem esses índices, tanto melhor tende a ser a construtibilidade da estrutura:

$\text{m}^2$  de área de contato de fôrma do pavimento por  $\text{m}^2$  de área de projeção do pavimento;  
 $\text{m}^2$  de área de contato de fôrma do pavimento por  $\text{m}^3$  de concreto do pavimento.

### Fôrma com molde de madeira

Para que o molde de madeira apresente o desempenho esperado por quem o irá utilizar é fundamental que na sua fabricação sejam empregados materiais adequados a este desempenho, que a

fabricação dos painéis seja criteriosa e bem executada e que esta fabricação seja embasada em um projeto de fôrma de madeira elaborado por profissional qualificado.

### Materiais componentes do molde de madeira

Os dois principais componentes do molde de madeira são a chapa de madeira compensada e a madeira serrada. Infelizmente, em muitos casos, os fornecedores ignoram e desrespeitam qualquer exigência técnica de norma para estes materiais e, sem dúvida, a negligência e/ou falta de conhecimento dos consumidores permite esta situação.

#### a) chapa de madeira compensada

A norma NBR 9532 da ABNT especifica as exigências técnicas que devem ser atendidas pela chapa de madeira compensada. É recomendável que antes da confirmação do pedido de compra sejam executados os ensaios que confirmem o atendimento a tais exigências ou, no mínimo, sejam apresentados resultados de ensaios de lotes anteriores e que confirmem a qualidade e a uniformidade da produção. Também recomendável verificar in-loco o desempenho do material em outras obras que o estejam utilizando.

Quando do recebimento das chapas de compensado devem ser verificadas: a quantidade entregue, as dimensões (largura, comprimento e espessura), a ortogonalidade dos cantos, o número de lâminas e realizada análise visual (observando a qualidade das lâminas superficiais e/ou da plastificação, a presença de falhas nas bordas e a pintura de proteção das bordas).

Para uma rápida avaliação da qualidade da colagem da chapa de compensado, com o material ainda no caminhão, é recomendado que seja feito um *ensaio expedito* (ensaio rápido feito no canteiro de obra, sem o respaldo de normalização técnica) de delaminação, retirando-se amostras e submetendo-as a um período de 20 minutos de fervura. Após este tempo, amostras que tiverem sido fabricadas com falhas grosseiras de colagem apresentam delaminação, a exemplo do apresentado na Figura 3.



Figura 3 - Corpo de prova de chapa de madeira compensada com delaminação após ser submetido a vinte minutos de fervura.

#### b) madeira serrada (sarrafo, tábuas e pontalete)

A aquisição de madeira serrada de boa qualidade para a fabricação de fôrma para estrutura de concreto armado tem-se mostrado uma tarefa árdua para as empresas construtoras.

O desrespeito com que os fornecedores tratam este material é gritante, podendo-se relacionar, dentre outros, os seguintes problemas: as dimensões das peças estão sensivelmente inferiores ao valor nominal e totalmente fora das tolerâncias de norma (NBR 9194 da ABNT); a exigência na compra de que a madeira fornecida seja bitolada (condição básica para uso na fôrma) acarreta uma diminuição ainda maior nas dimensões, associado a significativo aumento de preço; o material é entregue com umidade elevada; a espécie declarada para a madeira nem sempre corresponde ao material entregue.

Quando do recebimento da madeira serrada devem ser verificadas: a quantidade entregue, a umidade, as dimensões, a espécie da madeira (através de comparação visual de amostra previamente aprovada) e os defeitos (nós, encanoamento, arqueamento, etc.).

Adicionalmente ao relacionado acima, recomenda-se especificar e controlar a densidade de massa aparente, pois esta propriedade está intimamente ligada a todas as propriedades físicas e mecânicas da madeira. Recomenda-se como faixa de trabalho para a densidade de massa aparente valores entre 0,50 kg/dm<sup>3</sup> e 0,70 kg/dm<sup>3</sup>. Valores abaixo do limite inferior correspondem a madeiras mais moles, de baixa resistência, e, acima do limite superior, madeiras pesadas, de difícil trabalho e manuseio, somado ao fato de apresentarem complicações para a fixação e remoção de pregos. No recebimento no canteiro de obra esta determinação pode ser feita de maneira expedita e antes da descarga do material.

### Fabricação do molde de madeira

O mercado da cidade de São Paulo, a exemplo de outros, oferece às construtoras a opção de compra de fôrmas pré-fabricadas. Esta alternativa pode incluir ou não o projeto de produção da fôrma de madeira e o fornecimento total ou parcial dos materiais componentes no pacote de serviços contratados.

A alternativa de fôrma pré-fabricada é interessante e não deve ser descartada pois, em tese, estaremos recebendo um produto fabricado industrialmente, onde foram empregados os melhores equipamentos e utilizada mão-de-obra especializada. Somado a isto temos o benefício de não necessitar receber e estocar os materiais componentes da fôrma, como também não é necessário montar uma central de fôrma sofisticada no canteiro.

Para a adoção da alternativa de fôrma pré-fabricada recomenda-se:

- ◆ no caso do pacote de contratação incluir o projeto de produção da fôrma, este deverá ser discutido amplamente quanto aos critérios de apresentação e as soluções técnicas a serem adotadas;
- ◆ caso o fornecimento dos materiais madeira serrada e chapas de madeira compensada também esteja incluso no pacote de serviços

contratados, a contratante necessariamente deverá apresentar as propriedades que serão exigidas destes materiais e aprovar previamente a seleção do(s) fornecedor(es). A outra opção a contratante fornecer, total ou parcialmente, os materiais componentes do molde da fôrma;

- ◆ visitar as instalações industriais da empresa com o objetivo de comprovar a qualidade das instalações, dos equipamentos e da mão-de-obra;
- ◆ visitar duas ou mais obras de outras construtoras que estejam utilizando a fôrma pré-fabricada ofertada e obter informações básicas como qualidade do atendimento, cumprimento de prazos, apresentação e conteúdo do projeto de produção (se for o caso), problemas encontrados (principalmente na primeira montagem), desempenho da fôrma, etc.

Também não deve ser descartada a opção de fabricar a fôrma no canteiro de obra, prática adotada com bons resultados por algumas construtoras. Nesta opção, caberá à Engenharia da obra montar no canteiro uma central de carpintaria devidamente dimensionada e, ainda, ser a responsável por uma série de atividades como selecionar, comprar e estocar os materiais, compatibilizar o tempo físico e a equipe que irá fabricar a fôrma com a data em que ela será necessária, treinar a mão-de-obra quanto aos cuidados de fabricação, gerenciar a qualidade do projeto de produção de fôrma, dentre outras. Apesar da aparente magnitude no gerenciamento destas atividades, se bem executado os resultados podem ser gratificantes.



Figura 4 – (a) bancada e (b) serra circular de uma central de fôrma em canteiro de obra.

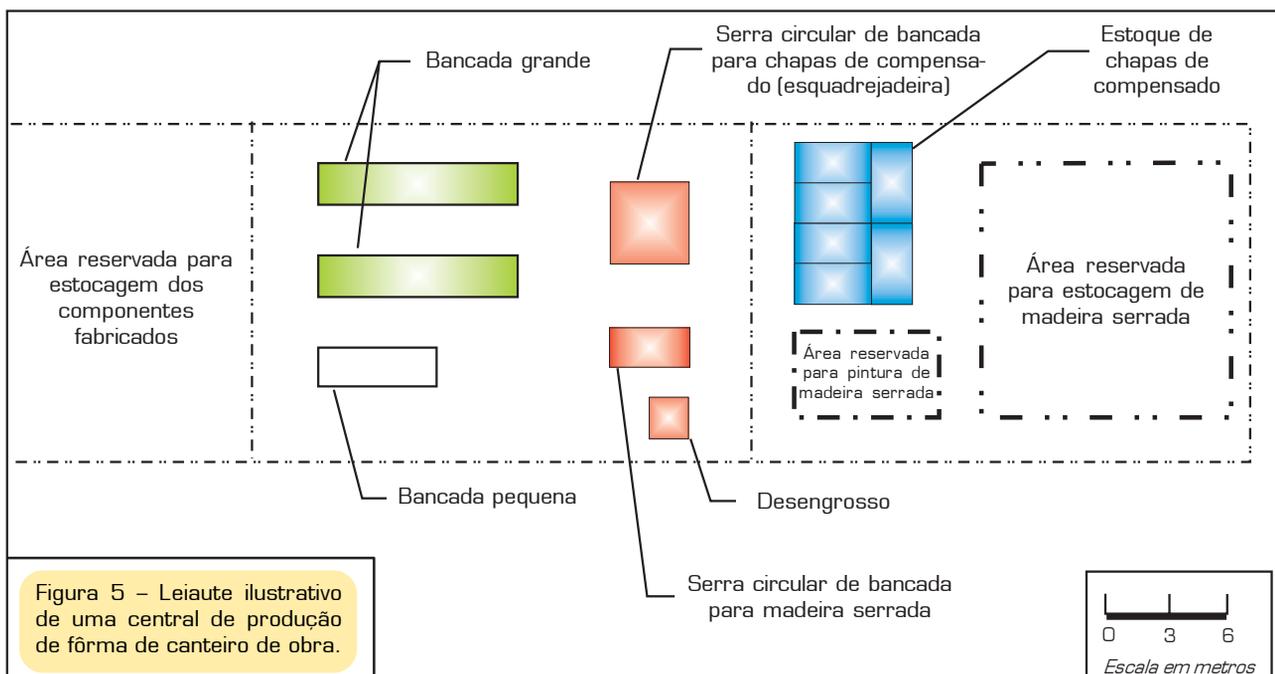


Figura 5 – Layout ilustrativo de uma central de produção de fôrma de canteiro de obra.



Figura 6 – (a) madeira serrada (sarrafos) pintada na central e (b) fôrma de pilares com componentes pintados, destacando-se o aspecto de equipamento resultante desta pintura.

## Projeto de produção da fôrma de madeira (molde)

Em quantidade significativa de construtoras a definição do sistema de fôrma, com ênfase para o molde em madeira, ainda é uma tarefa que cabe ao mestre e/ou ao encarregado de carpinteiro da obra, tarefa esta para a qual, na grande maioria das vezes, não estão qualificados.

A representação gráfica dos valores obtidos no dimensionamento - suas medidas de fabricação, quantidade das peças e a distribuição dos componentes não é a única função de um projeto de fôrma. Cabe também ao projeto definir o sistema de fôrma que melhor se adapte ao lançamento estrutural, a mão-de-obra e equipamentos disponíveis e as alternativas de cimbramento. Tem ainda como funções apresentar racionalidade na solução, otimizando o reaproveitamento de materiais e a produtividade da mão-de-obra, definir os detalhes operacionais (de montagem, de remoção e de movimentação), especificar os materiais considerados no dimensionamento e eliminar soluções improvisadas no canteiro.

A apresentação correta de um projeto de produção do molde em madeira de um sistema de fôrma deve considerar dois tipos de documentos: a) **desenhos de fabricação**, que devem conter todas as informações para a fabricação do molde em uma bancada de fôrma e b) **plantas de montagem**, que correspondem aos desenhos de projeto que apresentam todas as informações para a montagem da fôrma (seqüência, medidas, etc.).

A figura 7 exemplifica solução para o painel lateral de uma viga curta, desmembrado em dois painéis de modo a otimizar a desforma.

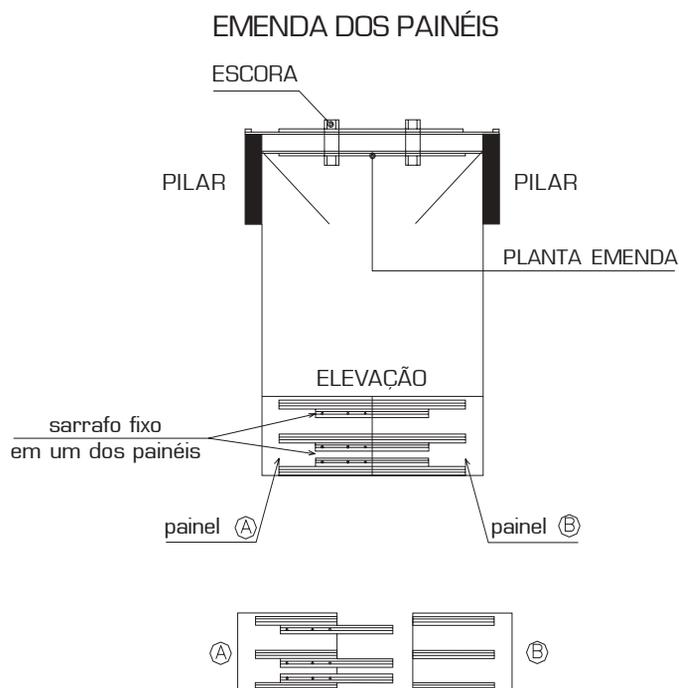


Figura 7 – Detalhe de painel para viga curta, desmembrado em dois painéis de modo a otimizar a desforma. Observar que a estruturação passante do painel A, associada, por exemplo, ao uso de garfo de madeira para travamento e cimbramento da viga, garante a perfeita estruturação do painel durante a concretagem.

## Montagem, desmontagem e verificações no sistema de fôrmas

A não definição ou a definição incorreta das diretrizes que devem ser observadas nas atividades de montagem, desmontagem e verificações no sistema de fôrma, fatalmente implica no não atendimento das expectativas de qualidade e de produtividade.

O registro e a implementação de um adequado **Procedimento de Execução** por parte da construtora fornece diretrizes para executar os serviços corretamente, num ambiente limpo e organizado, com a seqüência de montagem definida (ver exemplo na figura 8) e com o estabelecimento dos itens que devem ser verificados durante a montagem com suas respectivas tolerâncias, viabilizando elevado reaproveitamento do molde de madeira, qualidade do serviço final e resultando no menor número de homens-hora (H/h) trabalhado.



Figura 8 – Durante a marcação dos gualhos nenhum painel deve subir para a laje – Diretriz constante do Procedimento de Execução.

O Procedimento de Execução deve apresentar o seguinte conteúdo mínimo:

- ◆ **Objetivo:** define a finalidade e a abrangência do documento;
- ◆ **Documentos de referência:** relaciona os principais documentos que devem ser consultados devido à sua vinculação direta com o serviço objeto do Procedimento;
- ◆ **Ferramentas, equipamentos e materiais:** apresenta a relação destes elementos de modo que o serviço possa ser executado e inspecionado dentro das diretrizes estabelecidas;
- ◆ **Método executivo:** estabelece, de modo claro e objetivo, as diretrizes executivas para o serviço;
- ◆ **Itens de inspeção:** define os itens que devem ser inspecionados, os critérios a utilizar e as respectivas tolerâncias;
- ◆ **Tabela de medição e monitoração:** contém os itens a inspecionar com as respectivas tolerâncias e permite registrar as inspeções realizadas;
- ◆ **Anexos:** caso sejam necessários, como figuras exemplificativas.

### Treinamento e qualificação da mão-de-obra

De nada adiantaria investir nos itens citados anteriormente, como possuir um projeto estrutural com características de construtibilidade favoráveis, contratar um projeto de produção de fôrma junto a um



(a)

Figura 9 – (a) escoramento remanescente com escoras pontuais, posicionadas antes do início da desforma e (b) aspecto depois de desformado. Neste sistema as escoras remanescentes não são as mesmas que foram empregadas no cimbramento.



(b)

profissional capacitado, comprar os melhores materiais componentes, fabricar o molde da fôrma de acordo com as melhores recomendações e possuir um Procedimento de Execução corretamente elaborado, se a mão-de-obra responsável pela montagem e desmontagem da fôrma e do cimbramento não estiver devidamente qualificada.

ASSAHI cita que o item de maior influência negativa nos resultados do sistema de fôrma ainda é a não qualificação da mão-de-obra.

Toda a equipe do canteiro de obra, quer seja administrativa (engenheiro, estagiário, mestre, encarregado) ou de produção (equipe de carpinteiros), necessita ser treinada frente às diretrizes constante do Procedimento de Execução.

A equipe de administração tem papel fundamental nos resultados. A troca de qualquer integrante desta equipe de administração implica em prejuízos bem maiores do que a troca de um carpinteiro da equipe de produção, gerando a necessidade de investimento pesado no treinamento do substituto.

### Referências bibliográficas

ZORZI, A.C. **Fôrma com molde em madeira para estruturas de concreto armado: recomendações para a melhoria da qualidade e da produtividade com redução de custos.** 2002, 213 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Civil), Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT.

ASSAHI, P.N. **Sistema de execução da fôrma.** Texto de aula do curso de pós-graduação lato sensu – Tecnologia e gestão da produção de edifícios – PECE – Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2000. Não Publicado.

PEURIFOY, R. L.; OBERLENDER, G. D. **Formwork for concrete structures.** New York: McGraw-Hill, 3<sup>rd</sup> ed., 1995.

# MC-Bauchemie investe no BRASIL

Fábio Luís Pedroso  
Assessor de Imprensa - IBRACON

A MC-Bauchemie Brasil inaugurou na última terça-feira, 05 de abril, nova sede com capacidade de área e de produção dez vezes maior que sua antiga fábrica em Taboão da Serra. Segundo Jaques Pinto, diretor técnico-comercial da empresa, "a nova fábrica representa nossa resposta à forte demanda por nossos produtos e um compromisso com o futuro da economia do país".

Atualmente, a empresa produz duas mil toneladas anuais de produtos químicos para a construção civil brasileira.

A MC-Bauchemie Brasil é subsidiária do grupo multinacional alemão MC-Bauchemie, que possui mais de 40 anos de atuação em cerca de 50 países. No Brasil, a empresa é responsável pelo fornecimento de aditivos para concreto e argamassa, de sistemas de impermeabilização, de tecnologias de injeção, de pisos industriais e de reparo e proteção de estruturas. Seus produtos são utilizados principalmente em projetos de infra-estrutura, tais como: túneis; pontes; barragens; estações de tratamento de água e esgoto; reservatórios; etc. "A política da empresa é nacionalizar ao máximo a sua linha de produtos. Só não o fazemos quando o volume não compensa o investimento em equipamentos de produção, ou quando existe limitação tecnológica", explica Jaques Pinto.

A nova sede representou um investimento de dois milhões de euros, possui uma área de 15 mil m<sup>2</sup>, sendo 2500 m<sup>2</sup> de área construída. A planta de pó é formada por 5 silos com capacidade de 50 toneladas cada. Já, a planta de líquido contém 8 silos de 25 toneladas de capacidade. O estoque pode atingir mil palets e o terminal de carregamento pode comportar até sete caminhões.



O coquetel de inauguração da nova sede, situada na Rua Henry Martin 235, Tijuco Preto, Vargem Grande Paulista, São Paulo, contou com a presença do presidente mundial da MC-Bauchemie, Claus Müller, do prefeito de Vargem Grande Paulista, Roque de Moraes, do presidente do Instituto Brasileiro do Concreto, professor Paulo Helene, e do representante da Câmara de Comércio Brasil-Alemanha, Marcos Santos, além dos diretores da MC-Bauchemie Brasil, Jaques Pinto, Rubens Bagatella e Álvaro Pinto.

Veja os depoimentos das autoridades que participaram do coquetel de inauguração da nova sede da MC-Bauchemie:

"A MC-Bauchemie detinha o conhecimento e o capital para investir numa nova subsidiária. A escolha do Brasil foi em grande medida baseada na nossa confiança nas pessoas do Brasil", Claus Müller, presidente da MC-Bauchemie.

"É um orgulho para um pequeno município como o nosso receber uma empresa do porte da MC-Bauchemie", Roque de Moraes, prefeito de Vargem Grande Paulista.

"A MC-Bauchemie é a única empresa no mercado da construção civil nacional a fornecer produtos diferenciados para cada tipo de problema e de estrutura. Esse investimento representa a crença no desenvolvimento do país", Paulo Helene, presidente do Ibracon.

"As empresas de origem alemã são responsáveis por 15% do PIB brasileiro. Essa iniciativa da MC-Bauchemie merece nossos cumprimentos e apoio", Marcos Santos, representante da Câmara de Comércio Brasil-Alemanha.

# PERI oferece a solução mais rentável em sistemas de fôrmas e escoramentos para cada projeto



Sistema MULTIFLEX



Edifício Santa Catarina



Torres PERI UP



Estrutura da Laje



**Alexandre Tavares Rocha,**  
Engenheiro responsável,  
**MATEC ENG. E CONST. LTDA.,**  
São Paulo:

**“Trabalhando em conjunto com a PERI é possível atingir o alto nível de segurança e a qualidade final da estrutura de concreto.”**



- Manual PERI Fôrmas e Escoramentos
  - Catalogo PERI MULTIFLEX
- Solicite um Manual PERI/Catalogo:  
Fax: 0 11 / 41 86 10 41  
E-Mail: [info@peribrasil.com.br](mailto:info@peribrasil.com.br)



**PERI Formas e Escoramentos Ltda.**

Passagem Abaré, 1.502  
06300-000 Carapicuíba  
São Paulo

Tel.: ++55/11/41 86 10 41

Fax: ++55/11/41 86 10 41

[info@peribrasil.com.br](mailto:info@peribrasil.com.br)

[www.peribrasil.com.br](http://www.peribrasil.com.br)

## ARGAMASSA POLIMÉRICA COMO REVESTIMENTO IMPERMEÁVEL

Marcos Storte, Eng. Civil,  
Mestre em Engenharia,  
Gerente de Negócios da Viapol.

A construção civil tem como tendência utilizar cada vez mais sistemas que garantam a proteção às estruturas de concreto, o que tem contribuído para o incremento do surgimento de novos produtos e métodos de execução.

Quando o objetivo que se pretende é o aumento da vida útil da estrutura, várias alternativas são viáveis, umas com maior ou menor eficácia técnica ou na relação custo/benefício.

Este trabalho objetiva abordar as características da argamassa polimérica, ou seja, modificada com a introdução de um polímero, observando os requisitos necessários e complementando com exemplos de aplicações práticas, como impermeabilização e proteção para estruturas de concreto.

Este tema é muito oportuno, uma vez que temos a norma NBR 6118 - Projeto de Estruturas de Concreto, que estabelece responsabilidades quanto à efetiva proteção ao concreto, bem como a iniciativa da Caixa Econômica Federal, junto com o COBRACON, com o projeto de norma, ABNT - CE 02:136.01, intitulada Desempenho de Edifícios Habitacionais, onde o item Estanqueidade é relevante e remete a exigências de durabilidade e manutenibilidade.

### INTRODUÇÃO

A argamassa de cimento Portland é um excelente material de construção devido ao seu fácil manuseio, produzindo uma massa plástica que pode ser lançada ou moldada de forma e tamanho pré-determinados quando endurecida.

Sendo um produto fabricado pelo próprio engenheiro, deve apresentar características e propriedades compatíveis com a finalidade a que se destina.

Entretanto, a argamassa tem demonstrado certas limitações com relação à resistência, à tração na flexão, absorção de água, abrasão, etc...

Contudo, novos materiais de construção têm sido investigados em vários laboratórios por todo o mundo, entre eles a argamassa polimérica, na qual a tecnologia da argamassa de cimento é combinada com polímeros.

A introdução de polímeros nas argamassas de cimento Portland pode ser feita da seguinte maneira:

a) impregnação de uma argamassa normal de cimento Portland endurecido por monômero, seguida de polimerização, obtendo-se a argamassa impregnada de polímero;

b) mistura de monômero com agregado, seguido de polimerização após moldagem e adensamento, obtendo-se argamassa de resina;

c) introdução direta de um monômero ou polímero na argamassa, no amassamento, seguido de cura e polimerização após a aplicação, obtendo-se a argamassa polimérica.

Dentre os três tipos de argamassa com polímero, a argamassa polimérica, por não necessitar de mão-de-obra e equipamentos especializados, bem como não introduzir modificações quanto ao aspecto operacional, tornou-se a mais utilizada para aplicações na área de impermeabilizações e proteção de estruturas de concreto.

### HISTÓRICO

O conceito de argamassa polimérica teve seu início em 1923, quando a primeira patente do processo foi efetuada por Cresson (1) e se referia à utilização de borracha natural no concreto de cimento aplicado a calçamentos, onde o cimento era utilizado como carga. A primeira aplicação com intenção de produção de um cimento e polímero foi a patente de Lebefure (2) onde também usava-se a borracha natural através de um método racional de mistura, o que é relevante do ponto de vista histórico, haja vista que em 1925, uma idéia similar foi patenteada por Kirkpatrick (3).

Entre os anos 20 e 30, o conceito de cimento e polímero foi sendo desenvolvido utilizando-se um látex de borracha natural, quando, em 1932, foi sugerido pela primeira vez a utilização de látex de borracha sintética por Bond (4), sendo que a primeira utilização de látex de acetado de polivinila em argamassa de cimento e polímero foi efetuada por Rodwell (5), em 1933.

Em síntese, a década de 30 foi o divisor entre o uso de látex de borracha natural para o látex de borracha sintética ou de resina na argamassa de cimento e polímero.

Nos anos 40, várias patentes de sistemas com látex sintéticos foram publicadas, tais como de policloropreno (6) e látex de éster poliacrílico.

Também, as argamassas modificadas com acetato de polivinila foram desenvolvidas para aplicações práticas e tiveram nestes anos, na Inglaterra, utilização em convés de navio, em tabuleiros de pontes, em pisos anticorrosivos e como material adesivo. Ainda na Inglaterra, os estudos da possibilidade de aplicação do látex de borracha natural foram conduzidos por Griffiths (7) e Stevens (8), entretanto o grande interesse no uso de látex sintético para as argamassas de cimento e polímeros.

Em 1953, Geist et alii (9) apresentou um estudo detalhado sobre argamassa modificada com acetato de polivinila e proporcionou um grande número de sugestões para as pesquisas posteriores e desenvolvimento dos sistemas de concretos polímeros. Nos Estados Unidos, os estudos sobre argamassa de cimento e polímeros foram iniciados em 1952 (10), e a primeira aplicação prática foi na restauração de concreto da ponte de Cheyboygam, Michigan, em 1959, que ainda hoje apresenta-se em boas condições de utilização.

Nos anos 60, houve um grande incremento nas aplicações de argamassa de cimento e polímero, utilizando-se o látex de estireno-butadieno (11), o éster poliacrílico (12) e os ésteres polivinílicos (13). Desde esta data, as pesquisas e o desenvolvimento da argamassa de cimento e polímero têm tido considerável avanço em vários países, particularmente Estados Unidos, Japão e Inglaterra.

Conseqüentemente, um considerável número de publicações, incluindo patentes, artigos e trabalhos surgiram. No final dos anos 60, Nutt (14-15) desenvolveu um processo com o uso de resina poliéster insaturada, que recebeu o nome de "Estercrete". Em 1971, Dikeou, Steinberg et alii (16) estudaram outros sistemas, Donnelly (17) e Duff (18) patentearam o sistema baseado em resina epoxi em 1965 e 1973, respectivamente.

Também nos anos 60 (19) a metil celulose começou a ser utilizada como um polímero solúvel em água para modificar argamassa de assentamento de placas cerâmicas.

Em 1981, Kuhlman (20) relatou, baseado em experiências, que o concreto de cimento e látex estireno-butadieno apresentava excelentes resultados com relação à aderência e resistência à tração na flexão e, posteriormente, em 1986 (21), complementou estas experiências com ensaios de absorção d'água e resistência química, também com bons resultados.

Em 1981, por ocasião do Terceiro Congresso Internacional sobre polímeros em concreto, na cidade de Koriyama, no Japão, foi fundada uma organização internacional para organizar os congressos e disseminar as informações existentes sobre polímeros em concreto e argamassa em todo o mundo.

Em 1985, Ohama e Shiroishida (22) apresentaram um trabalho sobre a utilização de polímeros de acetato de polivinila e de poliacetato de vinila-etileno (EVA) para modificação de argamassas modificadas com látex de estireno-butadieno.

Em 1986, Lavelle efetuou experiências com látex acrílico, verificando propriedades semelhantes às do concreto de cimento e látex estireno-butadieno, utilizado com revestimento superficial para concretos que buscam grande durabilidade, impermeabilidade e flexibilidade e que tem sido o polímero mais utilizado atualmente.

## Características e Propriedades da Argamassa Polimérica

A argamassa polimérica é produto da associação de um composto inorgânico cimento e um composto orgânico látex polímero e tem uma estrutura definida que consiste no gel do cimento e as microfibras do polímero. Conseqüentemente, as propriedades do cimento e polímero são notadamente incrementadas quando utilizamos como parâmetro a argamassa convencional, como podemos ver, baseados nos ensaios a seguir. (23)

### a) Descrição do Sistema

Revestimento impermeável à base de dispersão acrílica com carga de cimento e aditivos minerais, fornecidos em dois componentes, sendo o componente A a dispersão acrílica e componente B o cimento e aditivos minerais.

### b) Preparação da Mistura

O componente B (pó) deve ser adicionado aos poucos ao componente A (resina) e misturado mecanicamente por 3 minutos ou manualmente por 5 minutos, tomando-se o cuidado para dissolver possíveis grumos. Utilizar até 30 minutos após a misturados componentes.

### c) Aplicação e Cura

A aplicação deve ser feita com o substrato previamente úmido e a proporção de mistura é de 1 parte de componente A para 3 partes de componente B quando em consistência de pintura, ou 1:5 como revestimento aplicado com desempenadeira metálica. Para os ensaios os corpos de prova após a sua secagem, foram mantidos 28 dias em câmara úmida.

### d) Massa Específica (A+B) – 2,01 g/cm<sup>3</sup>.

### e) Resistência à tração na flexão aos 28 dias.

- ◆ corpos de prova prismáticos nas dimensões 4x4x16 cm, sendo a carga aplicada com um cutelo no meio do vão e dois apoios com vão de 120 mm.

Nº do cp	Resistência à tração na flexão (MPa)
01	8,4
02	8,4
03	8,9

### f) Resistência a compressão simples aos 28 dias

- ◆ corpos de prova cilíndricos nas dimensões 5x10 cm.

Nº do cp	Resistência à compressão (MPa)
01	33,1
02	32,1
03	32,3
04	32,3
05	33,4
06	31,0
07	30,8
08	30,0

g) Determinação do módulo de deformação aos 28 dias.

- ◆ corpos de prova cilíndricos nas dimensões 15x30 cm, ensaiados conforme NBR - 8522, plano de carga tipo I.

Nº do cp	Módulo de deformação (GPa)
01	20,0
02	15,7

h) Estanqueidade à água.

- ◆ corpos de prova prismáticos nas dimensões 25x25x13 cm, ensaiados conforme DIN-1048.

Tipo de aplicação	Tempo	Pressão Hidrostática	Resultado
Pintura	7 dias	0,5 Kgf/cm <sup>2</sup>	sem alteração
Pintura	7 dias	1,0 Kgf/cm <sup>2</sup>	sem alteração
Pintura	7 dias	2,0 Kgf/cm <sup>2</sup>	sem alteração
Revestimento	7 dias	0,5 Kgf/cm <sup>2</sup>	sem alteração
Revestimento	7 dias	1,0 Kgf/cm <sup>2</sup>	sem alteração
Revestimento	7 dias	2,0 Kgf/cm <sup>2</sup>	sem alteração

1 Kgf/cm<sup>2</sup> = 10 m.c.a

i) Potabilidade de água

- ◆ corpos de prova prismáticos nas dimensões 15x5x2,5 cm, curados por 28 dias, com posterior aplicação da argamassa polimérica.

Os resultados obtidos nas análises físicas, organolépticas e químicas de duas amostras de água atendem ao exposto na norma NBR 12170 - Potabilidade da água aplicável em sistema de impermeabilização, da A.B.N.T, Associação Brasileira de Normas Técnicas.

### Comentários Finais

É importante observar que os dados científicos, comprovam a eficiência dessas argamassas, como revestimento adequado e compatível à uma estrutura de concreto, principalmente quanto buscamos estanqueidade e como decorrência proteção, que contribui para a maior durabilidade das edificações.

*Referências bibliográficas consultar o autor storte@viapol.com.br*

## Revista CONCRETO garante credibilidade em sua circulação dirigida

A revista Concreto acaba de obter sua filiação ao Instituto Verificador de Circulação (IVC).

Este fato garante a seus anunciantes que a circulação de cada edição é controlada rigorosamente por uma instituição idônea e de credibilidade, como o IVC, conforme os princípios de transparência do Ibracon.

O IVC nasceu em 1961, como recomendação do I Congresso Brasileiro de Propaganda, objetivando distribuir informações sobre dados de circulação, fornecidos pelas publicações e, verificar na forma de Auditoria, a circulação líquida, a fim de que a compra e venda do espaço destinado à propaganda se assentassem sobre normas equitativas e baseadas em informações fidedignas.

A filiação ao IVC representa a consolidação de um processo de qualificação progressiva da revista Concreto, iniciada com a reformulação de sua linha editorial e gráfica, uma marca da nova gestão do Instituto Brasileiro do Concreto.

Quem ganha são todos os agentes da cadeia produtiva do concreto, com um produto mais diversificado tematicamente e esteticamente melhor planejado.

No relatório auditorial feito pelo IVC na edição nº 37 consta uma tiragem líquida de 4473 exemplares distribuídos para todo território nacional. A maior concentração da circulação da revista encontra-se no Sudeste, com 60,9%. A revista é distribuída para:

- . 1515 construtoras e empreiteiras
- . 916 escritórios de engenharia e arquitetura
- . 590 órgãos públicos federais, estaduais e municipais
- . 469 fabricantes de cimento, de concreto, de aditivos, de materiais e equipamentos de construção
- . 426 entidades de classe
- . 388 outros ramos da cadeia produtiva do concreto





**Somos como  
nossos clientes:  
só usamos  
a melhor matéria-prima.**



**Engemix, o concreto que usa como matéria-prima o cimento da Votorantim Cimentos.**

Reconhecida por sua tecnologia, a Engemix é a fabricante de concreto líder em desenvolvimento de projetos sob medida, sejam eles simples ou de concretagens complexas. E conta ainda com outra vantagem para suas obras: a marca Votorantim Cimentos em sua matéria-prima. Pioneira na internacionalização do Grupo Votorantim, a Votorantim Cimentos oferece agora toda a sua qualidade também para o Canadá e Estados Unidos. É o cimento líder de mercado presente no concreto Engemix e no mundo. Conheça melhor as vantagens de ser cliente Engemix: [www.engemix.com.br](http://www.engemix.com.br) ou ligue para a Central Engemix: (11) 2184 7200.



## A Evolução dos Sistemas de Fôrma e Escoramento em Obras de Edificação no Brasil

Eng. Alexandre Pandolfo  
Gerente de Negócios - ULMA

Nos últimos anos 30 anos aconteceram sucessivos avanços na engenharia de construção civil nacional. Seria pouco abrangente e limitado tentar elencá-los aqui.

No segmento específico dos Sistemas de Fôrma (1) e Escoramento para estruturas de concreto moldadas *in loco*, as grandes obras da engenharia nacional, obrigaram os construtores a desenvolverem tecnologias executivas à altura de suas demandas técnicas.

No Brasil, soluções de fôrma para obras de arte, tais como túneis, pontes, barragens, indústrias e outras, tinham como premissa fundamental conformar o concreto fresco de acordo com um projeto de fôrmas. Nesse momento, as questões de produtividade na execução não eram devidamente avaliadas. Muitas

vezes, sequer mensuradas. Dentre outros recursos, a mão de obra era vista como um recurso abundante, ao menos disponível para as demandas daqueles tempos. Pelo menos a mão-de-obra era vista dessa forma.

Os equipamentos metálicos modulados começavam a ganhar terreno – seja como fôrma ou como escoramentos de obras em todo território nacional. Grandes construtoras que executavam as maiores obras iniciavam a perceber os benefícios.

Afinal, em que sub-sistema se poderia ter a gestão da Engenharia numa estrutura? O concreto, especificado em projeto, freqüentemente usado, deveria atender a um conjunto de características – tais como resistência característica à compressão, brita, abatimento, consumo mínimo de cimento, módulo de resistência, além de outros elementos intervenientes na tecnologia do concreto, tais como controle tecnológico, transporte, perdas e outros. Quanto ao aço, as questões concerniam à quantidade e ao posicionamento, conforme projeto de estruturas específico. Sobravam as questões de resolver como fazer: a mão-de-obra e a dupla fôrma-escoramento, muitas vezes, por sinal, reduzida a um único quesito.

No campo dos edifícios mais modestos, havia – e por que não dizer ainda há - o predomínio claro de soluções de fôrma convencionais – onde se faziam necessárias grandes cargas de madeira – muitas vezes em estado bruto – e uma mão-de-obra artesanal, para dar forma às necessidades de projeto. As fôrmas racionalizadas de madeira – ou as chamadas “fôrmas prontas”- apareciam nos pavimentos-tipo dos edifícios. Quando havia repetição de uso, com poucas alterações nas peças estruturais, os ganhos se mostram presentes. O próprio aumento da qualidade dos compensados, bem como sua gestão em campo, diluía os custos ao longo de um maior número de usos. Bons projetos e consultorias de fôrmas faziam com que os ganhos fossem potencializados. (2)

Não há como traçar um panorama histórico consistente sem se abordar as questões de mão-de-obra de forma mais aprofundada.



Fachada da obra Inpar - Hotel Formule 1 Consolação, executada em concreto armado.

A construção civil, porta de entrada para a mão-de-obra com baixa qualificação no mercado de trabalho, tem sua transmissão de conhecimento pelas práticas de execução. O que notamos é a existência de poucos cursos de formação e a injusta competição entre o estudo de formação e a necessidade de trabalhar desde cedo. Aquela imagem do artesão, experiente com baixa qualificação técnica, mas anos de prática, passando seu conhecimento para os mais jovens é absolutamente fiel aos fatos no Brasil.

Os próprios mecanismos de contratação dos funcionários, com alta incidência de encargos trabalhistas, fizeram com que grandes passivos trabalhistas se criassem. E muitos não pagos. A máxima do "contratar gente é fácil – dispensar é difícil – e caro" causava seus primeiros danos. As cicatrizes deixadas tiveram desdobramentos complicados – o monstro da informalidade crescia.

Novos modelos precisavam ser criados. A terceirização prometia ser a saída fácil e óbvia. As construtoras, na verdade, gestoras de contratos de especialidades, absorviam parte das margens de rentabilidade ao terem ociosidades inerentes aos processos de construção repassadas. Os riscos trabalhistas e a gestão de pessoal em si, não estão mais em suas mãos – nem tampouco nas suas costas. As armas das construtoras são os cronogramas apertados, respaldados em contratos com cobertura bastante abrangente.

Os serviços deixavam de ser pagos com salários, com hora x homem. Mas sim, por m<sup>2</sup> executado, m<sup>3</sup> lançado. Os controles de produção, nesse modelo novo, eram de responsabilidade dos "terceirizados" – dos empreiteiros.

Vimos a substituição de mão-de-obra de carpintaria pela montagem. Se não podem ser seguidos todos os paradigmas de procedimentos industriais numa obra, como existem numa indústria, pelas próprias particularidades dos processos, não podemos deixar de analisar os processos a fundo sob a ótica industrial. E, portanto, saber inferir seus potenciais de ganho, onde intervir e como.

Na execução dos projetos de estrutura, o pensamento, por vezes, restrito na estrutura pronta *per se* dos escritórios calculistas vai dando espaço para novos processos. Um cenário em que os entes participantes intervêm nos processos e nas decisões.



Vista do Sistema de Fôrmas em Painéis trepantes Orma, utilizado na mesma obra.

Não basta mais saber qual é a melhor estrutura concebida em cima de um panorama de solicitações e de arranjos arquitetônicos. Mas sim, como ela vai ser feita. É freqüente a visão de que algumas pequenas alterações podem gerar grandes ganhos na mão-de-obra de execução. Estudos bastante consistentes de uma grande construtora de São Paulo, na execução de lajes nervuradas, chegaram a conclusões interessantes. Concluiu-se que cerca de 30% das horas-homem empenhadas na execução de uma laje nervurada são empregados na execução da laje em si, reticulada. Os outros 70%, nos arremates e envoltórias. O ponto de onde agir parece ser claro.

Por outro lado, a segurança na execução das estruturas, menores tolerâncias e deformações, viabilizada nas soluções mais modernas, constitui um cabedal de requisitos de desempenho; questões como a sustentabilidade e o respeito ao meio-ambiente ganham força e voz mais ativa nas escolhas de insumos para as obras. Em dezembro último, encerrou-se o prazo para as construtoras se adaptarem a Resolução 307. Não basta mais, somente, saber como fazer – mas também onde dispor os dejetos de uma construção durante a obra. A separação de materiais exigirá uma gestão de resíduos em troca de transporte e armazenagem.(3) A evolução dos Sistemas de Fôrma e Escoramento certamente será influenciada por esses fatores. Os construtores sintonizados e atualizados com as tecnologias executivas contemporâneas sabem que quanto menos marcas se deixarem na estrutura, melhor. O mesmo se dará com os dejetos.

Das Fôrmas e Escoramentos, devem ficar na obra, somente boas lembranças.

- (1) : A ABRASFE – Associação das Empresas de Sistema de Fôrma e Escoramento – recomenda o uso do acento circunflexo diferencial em Fôrma.
- (2) : Vide ASSAHI , P.N. em Reportagem da Revista Técnica número 96 – página 22.
- (3) : Vide KISS, P. em Editorial da Revista Construção Mercado, número 44 – de março de 2005.

## O Banco Interamericano de Desenvolvimento e os Projetos de Parceria Público-Privado no Brasil

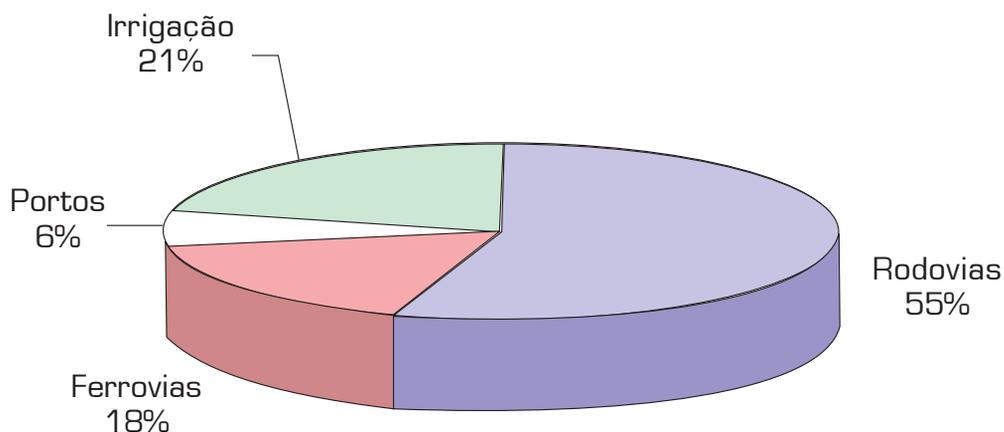
Os últimos planos do BID para o Brasil foram elaborados em sintonia aos Planos Plurianuais do governo (PPAs). Entre 1996 e 1999, o "Brasil em Ação" tinha como eixo norteador a maior estabilidade do plano Real recém-implantado e elevação dos níveis de crescimento. Contava com três áreas prioritárias - reforma do estado, redução do "custo Brasil" e interlocução das demandas sociais e a redução da pobreza. No que tange à infra-estrutura, a meta atrelava-se à rede rodoviária, energia elétrica e infra-estrutura de gás - integração de regiões do Brasil com países vizinhos. Nos anos seguintes, o plano "Avança Brasil", 2000-2003, previa o aprimoramento daqueles objetivos anteriores e focava-se em propostas ambientais e de promoção da integração regional. A agenda de infra-estrutura passou a ser pautada pelo saneamento urbano e gestão ambiental.

O PPA da gestão atual (Brasil para Todos) perfaz esforços no sentido de garantir o balanço

fiscal e o externo, assim como atingir maiores patamares de estabilidade e de crescimento. No que concerne aos investimentos em infra-estrutura, conjeturam ações que visam o desbloqueio do potencial de crescimento da atividade econômica; evasão dos entraves do setor energético; redução dos impactos de um eventual choque de oferta, e, por fim a viabilidade de um crescimento sustentado. Como o Estado não dispõe dos recursos necessários para investir nesses projetos, o papel do setor privado como investidor torna-se fundamental.

Cumprir recordar a lei, aprovada em 30 de dezembro de 2004, que estabeleceu as normas para licitação e contratação de empresas por meio de parcerias entre os setores público e privado, as chamadas PPPs. Esta nova modalidade de financiamento para infra-estrutura possui vantagens como tornar obras de grande melhoria econômica e social em empreendimentos

Projetos PPP - Distribuição de Investimentos Previstos por Setor



atraentes aos investidores. O setor privado contribui com serviços de qualidade e a entrega e as condições são especificadas em contrato. Este, por sua vez, engendra os investimentos necessários para a construção e manutenção da obra enfatizando o longo-prazo das condições de entrega.

As primeiras quatro obras prioritárias realizadas pelo regime das PPPs deverão ser: a construção do trecho da ferrovia Norte-Sul entre Estreito (MA) e Gurupi (TO); a duplicação da rodovia BR 116, no trecho que liga Feira de Santana (BA) à divisa com Minas Gerais; a construção, no Paraná, da variante ferroviária Ipiranga-Guarapuava e a duplicação da rodovia BR 101 Sul, entre Palhoça (SC) e Osório (RS). Ao todo, são 23 projetos e 13.067 bilhões de reais distribuídos pelos seguintes setores: rodoviários (R\$ 7.215 bilhões); ferroviários (R\$ 2.400 bilhões), portos (R\$ 760 milhões) e irrigação (R\$ 2.692 bilhões).

Com a priorização das PPPs para as obras de infra-estrutura no atual PPA, está havendo uma mudança na forma como o BID e outros organismos multilaterais financiam esses projetos. Ao invés de investir diretamente nas obras de infra-estrutura, o atual plano do BID para

o Brasil mostra que o Banco vai passar a priorizar investimentos institucionais, criando fundos administrados por instituições financeiras locais (em reais) que, por sua vez, financiam empreendimentos privados dentro do esquema de PPPs. Em meados de 2004, o BID aprovou um empréstimo de US\$ 75 milhões para a criação do Fundo Brasileiro de Investimentos em Infra-estrutura.

Em suma, há uma grande expectativa por parte do setor privado de que os marcos regulatórios das PPPs viabilizem um "boom" nos projetos de obras públicas nos próximos anos. O BID, que vêm exercendo papel vital em obras de infra-estrutura no Brasil e outros países da região, deverá continuar sendo um importante financiador desses novos empreendimentos. A maior parte dos empréstimos, no entanto, passará a ser canalizado para instituições financeiras e não para os governos, tendo em vista que é o setor privado quem executa as obras dentro do esquema de PPPs. Os setores interessados em participar de licitações das novas obras de infra-estrutura devem portanto estar atentos às regras que deverão ser criadas. Devem também estar atentos aos movimentos do setor privado, sobretudo no que concerne a formação de grandes consórcios.

## 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 ■ Prospeção 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](http://www.prospectivaconsultoria.com.br)

## FORMAS COM VIGAS DE MADEIRA INDUSTRIALIZADAS

Eng. Ms.C. Claudinei Palma de Lima  
Gerente Técnico - DOKA

Cada vez mais, as estruturas de concreto têm se tornado complexas, ora em decorrência dos projetos arquitetônicos, ora por outros motivos, ambientais, por exemplo. Exige-se que as fôrmas sejam estudadas com muito cuidado e por profissionais com experiência para que tudo ocorra dentro do planejado. Todavia, elas não podem ser artesanais, feitas exclusivamente para uma estrutura específica ou necessitando criar novo sistema para cada estrutura.

O sistema estudado a seguir foi desenvolvido para permitir grande versatilidade e produtividade para todos tipos de obras, utilizando acessórios padronizados. Neste sistema (figura 1), as chapas de madeira compensadas são estruturadas verticalmente com vigas de madeira industrializadas tipo "H20" (figura 2). As chapas podem ser pregadas ou parafusadas nas vigas e, na horizontal, são colocados perfis metálicos fixos nas vigas, através de elementos próprios de fixação.



Figura 1 - Detalhe da fôrma.

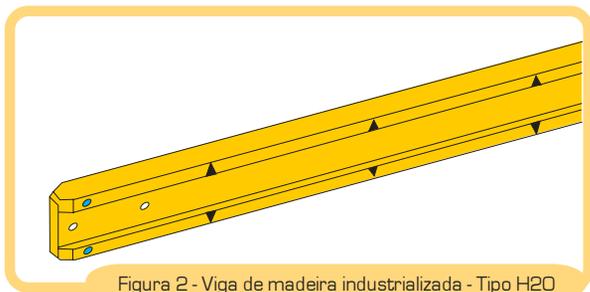


Figura 2 - Viga de madeira industrializada - Tipo H20

Os espaçamentos das vigas e dos perfis são definidos de acordo com a pressão atuante nas fôrmas, sendo menores os espaçamentos, quanto maior for a pressão atuante nas mesmas, tanto entre as vigas como entre os perfis. (figura 3). Os perfis possuem

furos nas suas extremidades para receber os elementos de ligação, que são as talas e os pinos que, com uma pequena variedade, junto com outros acessórios, torna possível conseguir todas as geometrias necessárias.

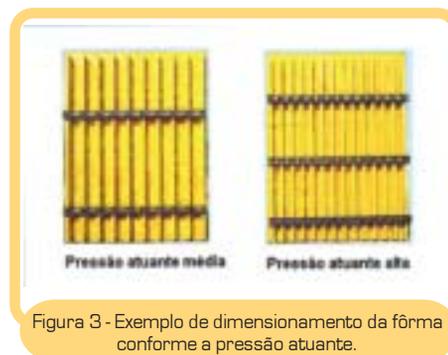


Figura 3 - Exemplo de dimensionamento da fôrma conforme a pressão atuante.

O uso deste sistema evita improvisações na obra, pois todos os acontecimentos prováveis já foram exaustivamente estudados, proporcionando a qualidade na moldagem e a segurança da obra. Outra característica é a adequabilidade no uso em paredes ou pilares em que houver especificação da textura ou de acabamento do concreto, uma vez que os painéis podem ser escolhidos e paginados conforme às exigências. Podem ser utilizados, também, materiais que incorporaram desenhos no concreto, como por exemplo, tábuas e sarrafos de qualquer espécie de madeira. Tem ainda a facilidade de poder ser acoplado ao sistema trepante ou "carros" para balanços sucessivos.

### Formas com vigas industrializadas acopladas ao sistema trepante

Solução tradicional utilizada para execução de grandes áreas, como paredes de barragens por exemplo, que ultimamente tem sido largamente utilizada em mastros de pontes estaiadas a caixas de escada/elevador de edifícios.

### Utilização em mastros (ou pilões) de pontes estaiadas

Para execução dos mastros para pontes estaiadas, o sistema é extremamente adequado, pois, além de garantir qualidade na aparência do concreto adapta-se facilmente às variações geométricas da

secção, característica comum em mastros, o que dificulta o uso do sistema deslizante.

Nos últimos anos, o sistema foi utilizado nas pontes sobre o Rio Paranaíba (Carneirinho-MG) (figura 4), Ponte Guamá (Pará), Ponte Santo Amaro (São Paulo) (figura 5) e Ponte de Brusque (SC).

### Utilização em pilares e paredes de edifícios

A utilização do sistema trepante em edifícios tem se tornado bastante comum principalmente em pilares de elevador ou de caixa de escada para resolver os chamados "gargalos", ou seja, eliminar os pontos onde normalmente ocorrem atrasos no cronograma da obra devido à complexidade da sua geometria. Molda-se, com essa alternativa, os pilares independentemente do resto da estrutura, acelerando a execução do todo.



Figura 4 - Ponte sobre o Rio Paranaíba (Construtora Queiroz Galvão)



Figura 5 - Ponte sobre o Rio Pinheiros (Construtora OAS)

## SISTEMA TREPANTE

### Como funciona

O sistema consiste na utilização de consoles metálicos que ligados através de tubos, braçadeiras, pranchas de madeira e outros acessórios, formam uma plataforma. As fôrmas são conectadas a esta plataforma através de perfis verticais e tensores.

O conjunto, fôrmas acopladas as plataformas, é fixado na estrutura através de inserts deixados na camada concretada anteriormente, que compostos por dois elementos: uma pequena barra de ancoragem com uma placa metálica soldada na ponta e um cone metálico com um furo roscado capaz de receber esta barra.

A barra de ancoragem fica presa no concreto definitivamente. Já o cone é retirado e trocado por um outro que possui uma cabeça preparada para encaixe para a plataforma. Para facilitar a sua retirada são revestidos com uma capa plástica apropriada. Este processo se repete em todas as etapas de concretagem, prevendo-se na anterior, os inserts necessários para a próxima etapa. Consegue-se, deste modo, que os painéis sejam "trepados" até atingir o final da estrutura, originando o nome do sistema (figura 6).

Para utilização nos edifícios, geralmente faz-se coincidir a altura de cada concretagem dos pavimentos.

Todos os demais trabalhos necessários para a execução dos pilares, ou seja, o fechamento da forma, a armação, a concretagem do pilar e o tratamento da camada anterior são feitos sobre a plataforma com toda segurança e sem a necessidade do uso da grua (figura 7). Aliás, a grua só é utilizada para movimentar o conjunto para a próxima camada.

Existem sistemas trepantes que dispensam, inclusive, o uso da grua para a movimentação, são os chamados sistemas autotrepantes. Estes sistemas são largamente utilizados no exterior, principalmente Europa (ver case). No Brasil, contudo ainda não apareceram obras onde se viabilizam o uso destes sistemas.



Figura 6 - Etapas de desmontagem, subida e montagem das fôrmas.



Figura 7 - Uso das plataformas do sistema.

## Fôrmas com vigas industrializadas acopladas a carros para balanços sucessivos

Este sistema possui o mesmo princípio das fôrmas trepantes, porém na horizontal. Para facilidade operacional as formas são penduradas em carros, espécies de treliça, fixos na camada concretada anteriormente.

Os projetos de fôrmas para balanços sucessivos devem ser cuidadosamente estudados, pois, a



Figura 8 - Rodovia dos Imigrantes (Consórcio Imigrantes).

geometria das aduelas não é constante e existem inclinações do tabuleiro tanto para os lados, como para cima ou para baixo. As regulagens são feitas no local, o que seria impossível se as soluções não estivessem pensadas anteriormente.

Por exemplo, para balanços sucessivos da ampliação da Rodovia dos Imigrantes (figura 8) foi necessário que a fôrma fosse inteiramente regulável devido ao número de ajustes necessários em função das inclinações do tabuleiro (figura 9).

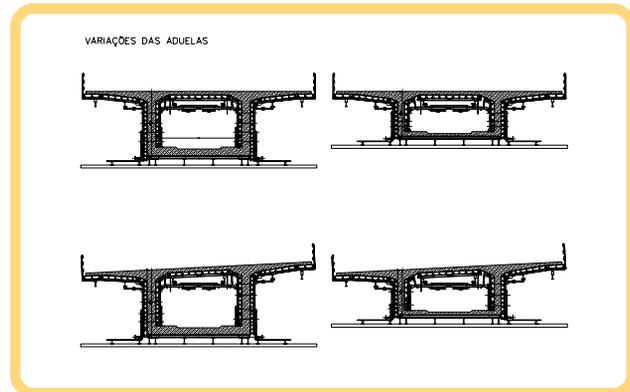


Figura 9 - Diferentes inclinações e variações da aduela.

## CASE RECENTE DE SUCESSO

### Ponte Binh (Vietnã)

No final de 2.004, foi concluída a execução dos dois pilões (mastros) no formato da letra A da Ponte Binh.

Esta ponte possui 1347m e fica situada em Haiphong, no Vietnã. Para a sua execução foi utilizado sistema autotrepante. O sistema possibilitou compensar o tempo perdido no início da obra e completar a execução dos pilões dentro dos prazos estipulados.

Esta nova ponte estaiada atravessa o rio a uma altura de 25 m e liga o centro ao norte da cidade e à província carvoeira de Quang Ninh. O tabuleiro com 22,5 m de largura acomoda quatro pistas de tráfego e dois passeios para pedestres. A data prevista de inauguração é 13 de maio de 2.005 o 50º aniversário de Haiphong.

### Solução de Fôrma

Com prazo reduzido para execução dos mastros, os construtores - as japonesas IHI, Shimizu e Sumitomo - optaram por sistema já testado e aprovado que é o sistema de formas com vigas industrializadas<sup>1</sup>, acoplada a um sistema autotrepante<sup>2</sup>.

O sistema possibilitou a execução de cada etapa com ciclo de dois dias, assegurando um eficiente progresso nos dois pilões, sem tempo ocioso da equipe. Enquanto concretava o pilão esquerdo, a equipe poderia trabalhar na desforma, elevação e alinhamento da forma do pilão direito, operações estas facilitadas pelos dispositivos hidráulicos do sistema autotrepante. Estas operações eram realizadas em menos de cinco horas por uma equipe de 4 a 6 homens. No dia seguinte, a operação era invertida, ou seja, enquanto concretava o pilão direito, a forma do pilão esquerdo era elevada. Todos os passos operacionais eram fáceis e rápidos de se aprender, o que fez o sistema funcionar como um mecanismo de relógio, com sincronismo preciso e produtivo. Como resultado, o pilão subia 3,62 m a cada dois dias, um dia na esquerda e outro na direita.

A característica muito especial para subir com o sistema autotrepante do pilão foi uma passarela que ligava, com segurança, os dois pilões, construída em vigas de aço e elevada por sistemas hidráulicos. Ela foi fixada a um apoio articulado de um lado, enquanto no outro era apoiado em uma construção tipo gôndola. A existência desta passarela permitiu trabalhar com apenas um elevador entre os dois pilões. A passarela foi projetada para resistir a altas velocidades do vento e suportar uma carga de 15 kN e, devido à inclinação dos pilões para o centro, era necessário que a passarela fosse projetada em módulos de 1,5 m de comprimento, com o objetivo de encurtá-la a cada 3 ou 4 camadas..

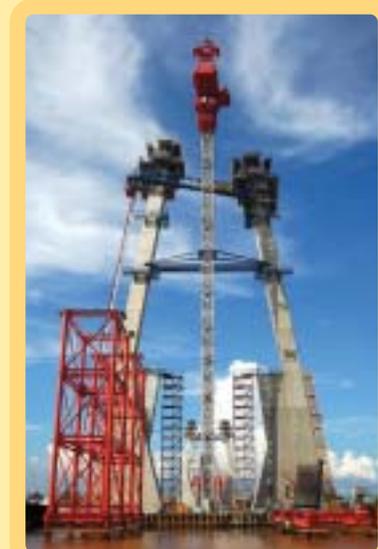


Figura 10 - Ponte Binh (Vietnã).

# Lançamento inédito no mundo

Pela primeira vez, lançados cinco novos cimentos simultaneamente para uso em geotecnia e obras de arte de alta tecnologia.  
Holcim: a mais completa linha de cimentos do Brasil.

## Microcimentos - Cimentos para injeção



### Tipos

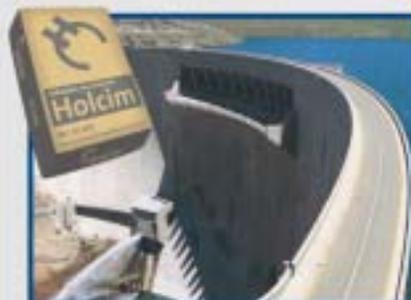
- MC 20 RS - Microcimento Resistente a Sulfatos, 95% passante na peneira de 20 microns
- MC 30 ARS - Microcimento de Alta Resistência a Sulfatos, 95% passante na peneira de 30 microns

### Aplicações

- Trabalhos subterrâneos (túneis, redes de saneamento etc.);
- Injeção em solos e rochas buscando estabilização e estanqueidade;
- Reparo ou reabilitação de obras especiais (barragens, aquedutos, pontes, viadutos, monumentos etc.);
- Injeções anulares (microestacas, canalizações etc.);
- Injeções em maciços rochosos fissurados;
- Injeções sob lajes de concreto;
- Recuperação de estruturas com falhas de concretagem.

### Vantagens

- Física e quimicamente compatíveis com qualquer tipo de solo;
- Alta resistência a sulfatos por possuírem  $C_3A < 4,0\%$  (MC 20 RS) e  $C_3A < 1,0\%$  (MC 30 ARS);
- Resistentes a solos e agentes agressivos tais como sulfatos, cloretos e meios semi-ácidos;
- Granulometria especialmente preparada para injeções em solos, rochas e concretos fissurados;
- Não contaminam nem agredem o meio ambiente;
- Alta estabilidade.



## Duracem - Cimentos para concreto projetado



### Tipos

- DURACEM PR 200 - Cimento Portland Especial para Concreto Projetado - Alta Aderência
- DURACEM AD 300 - Cimento Portland Especial para Concreto Projetado em Ambientes Agressivos
- DURACEM PI 500 - Cimento Portland Especial para Concreto Projetado - Pega Instantânea

### Aplicações

- Túneis diversos (metroviários, ferroviários, rodoviários, saneamento, infra-estruturas, serviços etc.);
- Primeira camada de estabilização de túneis em solos;
- Revestimento primário ou revestimento único de túneis em rochas;
- Revestimento secundário ou acabamento final;
- Reparo ou reabilitação de estruturas de concreto armado;
- Estabilização de taludes e maciços;
- Obras diversas em concreto projetado.

### Vantagens

- Especialmente preparados para assegurar altíssima coesão e baixíssima reflexão;
- Alta flexibilidade quanto à sua aplicação, não havendo qualquer tipo de limitação no serviço de concreto projetado;
- Alta resistência a sulfatos por possuírem  $C_3A < 3,0\%$ ;
- Alta resistência às reações álcalis-agregado;
- Resistentes a solos e agentes agressivos tais como sulfatos, cloretos e meios semi-ácidos;
- Propiciam aos concretos elevadas resistências mecânicas e baixas porosidade e permeabilidade;
- Baixo calor de hidratação;
- Baixa retração.

### Informações e Vendas

São Paulo (11) 4478-3000

Rio de Janeiro (21) 3369-4900

Minas Gerais (31) 3282-5000

Espírito Santo (27) 3328-3900

[www.holcim.com.br](http://www.holcim.com.br)



## Otimizar a Construção Utilizando Tecnologias de Fôrmas e Escoramentos

Eng. Martín E. Sola  
Ger. Técnico Comercial - PERI

### Formas para lajes

A solução estrutural racionalizada demanda a utilização de diversos sistemas de fôrmas e escoramentos, a saber:

- ◆ Sistemas nos quais as formas são armadas e desarmadas a cada utilização.
- ◆ Sistemas compostos por peças onde as medidas são moduladas, possibilitam o uso de painéis ou compensados e têm a característica de ter o forçado de descida rápida.
- ◆ Mesas voadoras. Esta solução permite pré-armar trechos da laje com diversos tamanhos, incluindo ou não, na própria mesa, o fundo mais uma lateral de viga.

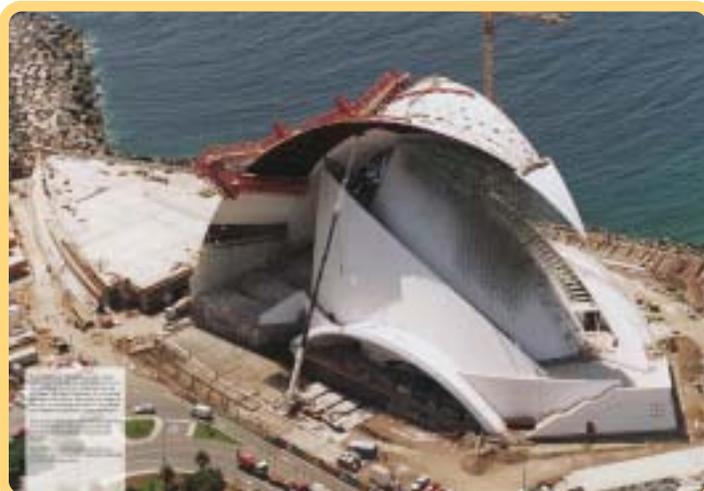
Para cada uma das alternativas há um critério de escolha: tipo de estrutura, quantidade de pavimentos iguais, prazo de obra, disponibilidade de grua, etc. Como complemento aos sistemas de laje, fôrmas metálicas e sistemas de mísulas trepantes fazem do conjunto uma solução completa que visa à realização de uma obra mais eficiente, mais rentável para o construtor, mais rápida e acima de tudo mais segura.

Em todos os lugares da terra, o ser humano procura seu bem-estar, aumentando suas reivindicações para melhorar continuamente as condições de vida. Desejam moradias maiores e de melhor qualidade, água limpa, escolas e universidades, hospitais modernos, meios de transporte confortáveis e rápidos, rodovias, trens, aeroportos... Ou seja, desejam cidades com centros vivos e atraentes para morar, pontes e estradas que as liguem através de todo o país.

Os arquitetos, engenheiros e as empresas construtoras têm na sua mão a possibilidade de tornar realidade esses desejos, agindo com um alto nível de qualidade em toda classe de edifícios. Engenheiros civis aproveitam os conhecimentos adquiridos, graças à pesquisa e à ciência, para conseguir construções econômicas em forma segura e rápida. Poderiam ser citados muitos exemplos desde arranha-céus e pilares de pontes que se elevam até o céu e agüentam, inclusive em áreas sísmicas, fortes ações horizontais sem se danificar; estruturas portantes de pontes que absorvem as forças resultantes do freio de emergência de um trem de alta velocidade sem causar dano algum, até túneis e prédios subterrâneos, com a máxima segurança, mesmo quando aplicadas as cargas mais extremas.

Para realizar esta tarefa, o concreto é o material de construção mais adequado tanto para as estruturas quanto para os prédios. Ele é resistente ao fogo, protege contra o ruído, a água, as tormentas e as temperaturas extremas. O concreto oferece todas as possibilidades para materializar construções modernas, cheias de arte, criatividade e fantasia.

O projeto é seguido pela execução, convertendo o desenho inicial em realidade. Uma vez tomada a decisão, o construtor quer que as obras finalizem no menor tempo possível e com custos muito reduzidos. Os prazos limitados e a forte concorrência de preços exigem da empresa construtora um rendimento máximo. Esta circunstância exige que a direção da obra, as pessoas envolvidas na preparação dos trabalhos e os mestres possuam, além da qualificação técnica no que diz respeito aos



Fôrma e escoramento especial no Auditório de Tenerife, Espanha.  
Projeto do Arq. Santiago de Calatrava.

materiais de construção e à sua utilização, talento organizativo, facilidade de improvisação e voz de comando. Neste sentido, as empresas do setor de fôrmas, escoramentos e andaimes têm contribuído com inúmeras invenções marcadas pela inovação para uma melhoria contínua dos processos de construção, bem como o aumento da segurança das pessoas envolvidas na construção.

Hoje em dia no Brasil existe uma grande disponibilidade de sistemas de fôrmas e escoramentos, com padrões de qualidade de nível internacional. A flexibilidade dos mesmos permite uma maior liberdade na concepção do projeto arquitetônico sem significar um custo maior da obra. O sucesso de uma estrutura de concreto vem como resultado de uma acertada escolha da solução estrutural e um correto planejamento da execução da mesma. A escolha do sistema de fôrmas e escoramentos é fundamental, uma vez definida a estrutura, pois vai possibilitar o cumprimento dos prazos de execução, atingir a qualidade final desejada da estrutura e, principalmente, manter os custos finais dentro dos previstos no orçamento da obra. As empresas do ramo dispõem de profissionais altamente qualificados e especializados no assessoramento das diferentes alternativas de equipamentos, com as vantagens e desvantagens de cada um. Existem fatores decisivos a serem analisados antes da escolha final do escoramento a ser utilizado na obra.

### Soluções conforme o projeto arquitetônico de prédios

Atualmente, os projetos arquitetônicos precisam ter uma grande versatilidade no desenho dos interiores, principalmente em obras prediais comerciais. E os sistemas modernos de fôrmas e escoramentos permitem a realização dos projetos arquitetônicos mais criativos e desafiantes.

Diante desta necessidade do mercado, os avanços da engenharia estrutural e de materiais permitem oferecer uma variada gama de soluções. A eleição da solução estrutural correta permitirá a utilização eficiente de sistemas de fôrmas e escoramentos de altíssimo rendimento. A utilização de uma estrutura composta por lajes planas é uma das soluções para responder à demanda, por apresentar mais vantagens em relação à solução tradicional composta por vigas e lajes. Em primeiro lugar, o uso de lajes planas evita a necessidade de aumentar o pé direito entre os pavimentos por causa das vigas, simplifica as instalações de ar condicionado, elétricas e de incêndio. Cabe salientar também que uma laje plana nervurada vai ter uma altura total da laje maior e os processos de execução são mais demorados e menos produtivos, com maiores custos de acabamento final do que a laje plana maciça.

Uma opção de desenho arquitetônico muito utilizada em outros países são os projetos de torres

com as fachadas de concreto aparente "in loco". A aplicação deste recurso é muito utilizada em prédios de alto ou médio padrão. A existência de grandes apoios rígidos para as lajes viabiliza a execução de lajes planas, sem protensão e de espessuras finas. Este tipo de estrutura simplifica os processos de acabamento das fachadas e reduz significativamente a necessidade de paredes feitas com tijolos ou blocos.



Obra: *Turning Torso* na Suécia.

Para este tipo de estrutura é recomendável a utilização de sistemas de fôrma de alta produtividade, geralmente vinculados a plataformas trepantes. As janelas e demais furos nas paredes são feitas por meio de caixas de madeira negativas ou *box-out* (caixas que ficam presas entre as duas faces da fôrma).

As vantagens das fôrmas de grandes dimensões são muitas, tais como: simplicidade na união dos painéis; rápido alinhamento dos mesmos; poucos pontos de ancoragem, que reduzem não somente o tempo necessário para fechar as fôrmas como também o trabalho posterior de tampar os furos, reduzindo significativamente os reparos finais e garantindo um melhor acabamento final do concreto.

Os sistemas de painéis se classificam em sistemas modulares e sistemas pré-armados. Estes últimos são mais adequados para se obter paredes de concreto aparente, pois estes painéis não possuem quadros metálicos que ficam impressos no concreto, os painéis pré-armados<sup>1</sup> compostos de peças isoladas como vigas, longarinas metálicas e compensado, permitem projetá-los

para as geometrias mais complexas, garantindo perfeitas superfícies e acabamentos finais do concreto. Uma grande solução para as obras é poder levar diretamente ao canteiro os painéis já montados, sem necessidade de dispor de espaço e recursos para montar as formas na obra.

<sup>1</sup> Sistema de fôrma tipo VARIO



Fachada de concreto aparente executado com painéis pré-armados sobre plataformas trepantes.

## Racionalização da fôrma e uso de sistemas trepantes

Em plantas com áreas maiores a 800 m<sup>2</sup>, o ideal é fazer a concretagem da laje em duas metades, de modo que, quando se está executando a primeira metade da laje, são executados os pilares e paredes da outra metade do pavimento. O dimensionamento da quantidade de equipamento necessário é: um jogo completo de escoramento da laje, mesmo que esta seja concretada em duas metades; um jogo completo de fôrma da face exterior das paredes da fachada, junto com as plataformas trepantes; e, finalmente, metade da fôrma da face interna das paredes da fachada e metade dos pilares e paredes internas restantes. Este último jogo de fôrmas é utilizados duas vezes por andar.



Exemplo de dimensionamento do jogo de fôrmas ótimo.

A escolha de um compensado de qualidade que atenda a totalidade das utilizações para a realização do prédio é fundamental para evitar tempos improdutivos com reparos na superfície do concreto, ou na troca de chapas da fôrma. A grua nesta solução executiva do prédio é uma ferramenta essencial. Um ponto muito importante é que todos os trabalhos de acabamento das fachadas são realizados nas plataformas inferiores, que dispõem de unidades trepantes, obtendo assim uma estrutura pronta no andar inferior àquele que está sendo concretado. Cabe destacar que, dependendo da geometria da planta do prédio, é comum ter plataformas de 5 m de comprimento, compostas somente por duas mísulas. Os modernos sistemas de ancoragem fazem com que a plataforma içada encaixe nas ancoragens superiores e a recuperação das ancoragens liberadas no andar inferior seja segura e rápida. Em média, o processo de içamento de uma plataforma não demora mais que 5 minutos.

A tecnologia de plataformas trepantes cresceu nos últimos anos, sendo que hoje são executados no mundo prédios arranha-céus com plataformas auto-trepantes com comprimentos de até 12 m por plataforma. A içagem nestes casos é feita por meio de macacos hidráulicos sincronizados com velocidade de 0,50 metros por minuto. Esta operação pode ser feita com ventos de até 80 km/h, mas as plataformas são dimensionadas, se necessário, para suportar ventos máximos de 180 km/h. Além da simplicidade na

operação deste tipo de plataformas, a maior vantagem é a de liberar a grua para outras tarefas, obtendo-se uma velocidade de execução da estrutura muito alta. Em prédios com grande quantidade de paredes e com o sistema auto-trepante, pode ser executado um andar a cada 4 dias.



Paredes executadas com fôrmas sobre plataformas auto-trepantes. Prédio Galileu na Alemanha.

A utilização destes equipamentos é comum, também em pilares de pontes como no viaduto de Millau na França, que é recorde mundial de altura.

## Aplicação das mesas voadoras para lajes

Muitos prédios comerciais têm a fachada em pele de vidro ou *curtain wall*. Uma solução estrutural, que amplia as áreas de vidro, é a de laje sem vigas na borda do prédio. Esta solução requer que as paredes dos núcleos de elevadores e escadas sejam em concreto e têm a função de dar rigidez horizontal ao prédio, evitando a materialização de pórticos nas fachadas. Uma alternativa na execução destas estruturas é fazer as paredes dos núcleos solteiros antes das lajes,



Pilar da ponte Millau, França

ou seja trepar a fôrma independentemente. As fôrmas e os sistemas trepantes têm as mesmas características que as comentadas no caso anterior dos prédios com fachadas de concreto.

Já para as lajes, as soluções de escoramento são variadas. Se for uma laje plana com viga ou sem viga na borda e grandes vãos entre os pilares, os sistemas de mesas voadoras são uma alternativa em relação aos sistemas tradicionais. As mesas podem ser compostas por torres ou escoras com forçados especiais. Estas últimas facilitam o trânsito de material e pessoas no escoramento, também têm maior flexibilidade e produtividade na retirada das mesas independente da altura de viga, porque os forçados têm uma articulação que permite girar as escoras 90 graus.



Exemplo de mesa voando.

Esta vantagem faz com que o ciclo de desforma e colocação na posição final, na laje superior, seja feito em 10 a 15 minutos por mesa. O tamanho das mesmas pode atingir 25 m<sup>2</sup>. O sistema de mesas voadoras permite ter grande flexibilidade no desenho das mesmas, possibilitando incluir o fundo e a lateral interna da viga de borda, na própria mesa e deixar pronta a passarela de concretagem com os guarda-corpos colocados. A produtividade das mesas em relação aos sistemas tradicionais, onde tudo é montado e desmontado a cada utilização, é de 15%; ou seja, se para o sistema convencional o coeficiente de mão-de-obra é de 0,60 hh/m<sup>2</sup>, a laje escorada com mesas voadoras<sup>2</sup> seria somente 0,10 hh/m<sup>2</sup>. O ciclo de execução normal dos pavimentos está entre 7 e 10 dias e a velocidade de execução não melhora com o aumento da quantidade de carpinteiros, mas sim, com o correto planejamento das tarefas.

As mesas devem ser pré-montadas na obra, por causa do tamanho que impede o transporte das mesmas do pátio do fornecedor até a obra. Deve-se prever um espaço para este serviço no canteiro de obra. O custo da montagem inicial faz com que esta solução seja economicamente viável a partir de 10 utilizações das mesas; então, em prédios com dez pavimentos-piso ou mais, as mesas são uma alternativa muito boa para ter uma obra de sucesso.

<sup>2</sup> Sistema de mesas voadoras tipo UNIPORTAL

## Sistemas modulares

Outro sistema muito eficiente é o sistema de painéis metálicos modulares<sup>3</sup>, que tem a principal característica de dispor de forçados de descida rápida. O uso do painel nem sempre é requerido já que estes sistemas têm a possibilidade de trocá-los por vigas e assoalho de compensado de 18 mm. A vantagem do forçado de descida rápida é possibilitar a desforma da laje a partir do dia seguinte da concretagem.



Escoramento com painéis modulares.

O prazo mínimo para realizar a desforma depende do tipo de concreto, a espessura da laje e a temperatura média na época da construção. Este sistema perde produtividade, dependendo do tamanho das lajes. Quanto maior o número de vigas de concreto na estrutura, e, portanto, menor as lajes, menor a produtividade do sistema, por causa dos arremates necessários a serem executados nos encontros das lajes com as vigas. A maior diferença deste sistema de escoramento com as mesas ou com o sistema tradicional é mais evidente quando, por uma necessidade de velocidade de execução das lajes, seriam requeridos dois jogos do sistema tradicional ou mesas. Nessa situação além de movimentar menor quantidade de peças, tem-se grande economia de compensado.

<sup>3</sup> Sistema tipo SKYDECK



Reescoramento de uma laje executada com painéis modulares.

## Sistemas tradicionais

Finalmente o sistema tradicional<sup>4</sup> é aquele mais flexível, porque é o sistema que se adapta a todo tipo de solução estrutural, mesmo com uma densidade importante de vigas. É o sistema mais versátil, porém tem a menor produtividade em relação aos outros tipos de sistemas. A aplicação no Brasil é amplamente aceita com ótimos resultados. Este sistema é composto por cinco tipos de peças diferentes: escoras, forçados, tripé ou outro elemento de estabilização e vigas, as quais são usadas como vigas principais e secundárias. As vigas de madeira industrializadas que compõem o sistema têm a vantagem de ter grande inércia e resistência à flexão, o que permite grandes distâncias entre vigas principais e as escoras, ficando um escoramento leve e excelentes condições de trânsito dentro dele.



Estágio na montagem do escoramento com o sistema tradicional

O peso unitário das peças é sempre menor em relação ao peso de uma placa de compensado, por isso, a montagem é rápida e feita em equipes de duas pessoas. A menor produtividade deste sistema, no caso de lajes onde os outros sistemas são viáveis, deve-se à necessidade de montar e desmontar todas as peças individualmente a cada utilização.

<sup>4</sup> Sistema tipo MULTIFLEX

## Soluções com torres de carga

No caso de lajes com pés direitos altos, os sistemas de torres de carga atuais permitem ter, sempre que a estrutura seja regular, vãos livres entre as torres adequados para permitir o trânsito no piso onde apóiam as torres e simplificar a movimentação dos materiais e pessoas na obra. Existem basicamente dois tipos de torres: as que têm uma secção em planta definida e as que permitem mudar a secção da torre dependendo da necessidade. A vantagem do primeiro tipo de torres é que requerem poucas peças diferentes; existem sistemas de torres que permitem fazer torres de qualquer altura somente com cinco peças diferentes.

Já as torres de secção variável têm peças diferentes para cada largura, mas muitas vezes ter essa flexibilidade em obra simplifica muito a solução



Escoramento com torres de carga numa obra na Av. Paulista

do escoramento. Uma característica comum das torres modernas é a simplicidade nas uniões, as quais geralmente são por encaixe tipo macho e fêmea e não requer outra ferramenta além do martelo e é muito simples corrigir o prumo das mesmas já que dispõem de parafusos de regulagem tanto na base quanto no topo. Outra vantagem é que dependendo da carga e da altura da torre, nem sempre é necessário o uso de diagonais para as mesmas suportarem a carga de trabalho. A partir dos 6 metros de altura, as torres devem ter um plano de travamento horizontal no topo das mesmas para garantir a estabilidade do conjunto.

Quando se têm torres de alturas maiores, o padrão é colocar linhas de travamento a cada 8 metros de altura. O fato de ter um grande espaço entre as torres possibilita a fácil montagem de torres auxiliares depois da concretagem da laje para o re-escoramento.



Início da montagem das torres de reescoramento.

Esta possibilidade oferece a grande vantagem de permitir a rápida recuperação do compensado para ser reaproveitado na laje superior e também das vigas que compõem o escoramento, e oferece, em consequência, a redução da compra de compensados

e a diminuição da logística de peças do escoramento na obra. Quanto menor é a troca do escoramento em obra, maior é o benefício no custo total em transporte, mão-de-obra para carga e descarga de peças e conferência do material. Este conceito também se aplica a toda a obra, mas é mais importante para o caso das periferias de obras. Estas geralmente são executadas em trechos; então, o melhor é dividi-los de forma a ter um jogo ótimo de chapas de compensado e de escoramento. Para isso, é bom a execução do projeto do escoramento completo, assim como dimensionar corretamente o material. O ganho com fretes e mão-de-obra é bem maior do que se algumas peças não fossem utilizadas em algum dos trechos.

### Solução estrutural e equipamentos de transporte vertical

Uma solução estrutural projetada, não somente para as condições de uso na vida útil da estrutura, mas também pensada numa fácil execução, é determinante na produtividade final na utilização de sistemas de fôrmas e escoramentos. Existem vários detalhes que podem simplificar a execução de uma estrutura: um deles é, sempre que possível, padronizar a altura das vigas e espessuras de lajes, já que simplifica a fôrma lateral das vigas e o nivelamento do escoramento; outro, manter a seção dos pilares ao longo do prédio para evitar fazer adaptações nas fôrmas e manter os pilares com a mesma seção de modo a utilizar a fôrma mais de uma vez por planta, no caso de fazer os pilares solteiros. Finalmente, evitar que a largura das vigas seja menor do que a espessura do

pilar, simplificando o encontro de topo da viga no pilar, pois não requer adaptações complexas da lateral da viga e a forma do pilar.

Os equipamentos de transporte vertical devem ser projetados dependendo do tipo de serviço que vão atender na obra. No caso de utilização de fôrmas pesadas em obra, unidades trepantes e/ou mesas voadoras ou sistemas modulares como escoramentos das lajes, requer-se a utilização de grua e a capacidade padrão em ponta da mesma deve ser de no mínimo 1.500 kg. Sempre é melhor conferir os pesos dos elementos a movimentar antes de escolher a grua. O mais importante, uma vez decidido pela utilização da grua é fazer um correto planejamento de todos os trabalhos que dependem da mesma para otimizar os processos e acelerar os trabalhos. Sempre que possível deve-se instalada a grua no início da obra. Além de movimentar fôrmas e escoramentos, a grua leva os materiais e o concreto para a execução dos pilares e paredes. Na maioria dos casos o peso da caçamba de concreto é o determinante da capacidade necessária da grua.

Os sistemas modernos de fôrmas e escoramentos dão forma às estruturas de concreto. As fôrmas e escoramentos são para o funcionamento e estética do projeto assim como os andaimes são para a segurança das pessoas, tanto em grandes pontes, túneis e arranha-céus, como em barragens e centrais elétricas.

A colaboração dos engenheiros especialistas do ramo aos gestores das empresas construtoras conduz sempre a soluções rentáveis, rápidas e seguras.

Rua Olympio de Carvalho, 83 - Centro  
Lagoa Santa - MG - Cep: 33400-000  
DDG: 0800 - 99 - 3611  
Fax: (31) 3681-3622  
E-mail: [atex@atex.com.br](mailto:atex@atex.com.br)  
Site: [www.atex.com.br](http://www.atex.com.br)



## COSTO Y CALIDAD DE LAS ESTRUCTURAS

Prof. Raúl Husni, Paula C. Folino & Claudia M. Traiber  
Departamento de Construcciones y Estructuras  
Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina  
info@pacefo.com.ar

### INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se produce una notable evolución tanto en la constitución como en la forma de empleo del hormigón, básicamente debido a la utilización de aditivos químicos altamente reductores de agua, comúnmente conocidos como superfluidificantes, y por la incorporación de minerales activos, dando lugar así a la aparición de una nueva generación de hormigones.

**A estos hormigones así modificados, aunque sea con algunos de los recursos mencionados, se los denomina de alta prestación,- H.A.P.- o de alta performance.** Se destaca que los H.A.P. no son necesariamente hormigones de alta resistencia ( $f_{ck} > 60\text{MPa}$ )

La utilización de estos H.A.P. permite ampliar substancialmente los atributos que pueden caracterizar a un hormigón, y consecuentemente la calidad de las estructuras construidas, ya sea en masa, armado o postensado.

En general las cualidades que se alcanzan con su utilización, están asociadas a una mayor facilidad del proceso constructivo, a una mejora del comportamiento de la estructura en servicio y a un menor costo total durante el tiempo de su utilización.

Así por ejemplo, la trabajabilidad y la alta resistencia inicial permiten disminuir el consumo de

materiales y los tiempos de construcción reduciendo el costo inicial, la compacidad, la impermeabilidad y el mayor contenido de cemento, aumentan la durabilidad y consecuentemente extienden la vida útil.

En algunos casos, puede ser necesario obtener hormigones con determinados atributos particulares, por ejemplo resistencia a la abrasión, baja permeabilidad, o estabilidad volumétrica.

Las cualidades o atributos específicos del hormigón, dependerán del tipo y destino de la estructura, del medio ambiente, de las condiciones particulares de construcción, etc.

**El uso de estos H.A.P. junto con el acero ha dado lugar a "nuevo hormigón armado" y su aplicación conduce a una nueva generación de estructuras de hormigón que podríamos llamar "Estructuras de Alta Prestación"- E.A.P.-.**

**A las estructuras de Alta Prestación,- E.A.P.-, las podemos definir como "aquellas que en relación al tipo de obra y al medio de implantación, presentan una aptitud superior a la habitual para cumplir con la función asignada, extender su durabilidad, y/o disminuir el costo inicial o de mantenimiento".**

En la Tabla 1, se muestra algunas cualidades de los hormigones y los aspectos sobre los que tienen mayor incidencia en las estructuras de hormigón:

Tabla 1. Cualidades del hormigón y sus incidencias.

INCIDENCIA SOBRE EL ESTADO LIMITE ULTIMO	INCIDENCIA SOBRE EL ESTADO LIMITE DE SERVICIO	INCIDENCIA SOBRE LA DURABILIDAD	INCIDENCIA SOBRE EL COSTO INICIAL	INCIDENCIA SOBRE EL COSTO DE MANTENIMIENTO
Alta Resistencia a la Compresión	Alto Módulo de Elasticidad	Resistencia a la Abrasión	Alta Resistencia Inicial	Resistencia a la Abrasión
	Resistencia a la Atracción	Protección contra la Corrosión	Trabajabilidad	Protección contra la Corrosión
	Resistencia a la Compresión	Impermeabilidad	Resistencia a la Compresión	Difusibilidad, Capilaridad, Permeabilidad

**Salvo condiciones muy particulares de proyecto, en general** debe demostrarse que la elección de un hormigón de determinadas características permite optimizar la relación costo - beneficio.

Una de las características más significativas en cuanto al costo inicial resultante de la estructura es la resistencia a la compresión del hormigón a emplear.

La Fig. 1 muestra la disminución del costo por unidad de resistencia del hormigón, en función de la resistencia a la compresión, de la que surge en principio la conveniencia de utilizar hormigones de mayor resistencia. Más allá de los materiales, recursos humanos y equipos de que disponga, no resulta sencillo al proyectista estructural evaluar las consecuencias económicas de su elección para el conjunto de la estructura, debido a la cantidad de variables que intervienen algunas de las cuales actúan favorablemente y otras no.

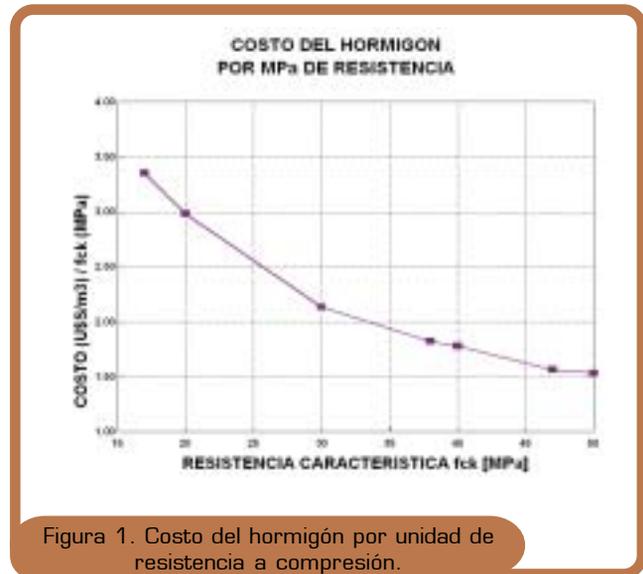


Figura 1. Costo del hormigón por unidad de resistencia a compresión.

## HIPÓTESIS DE MATERIALES Y DE CALCULO ADOPTADAS:

Las variables de diseño son la calidad del hormigón y del acero a emplear, realizando las evaluaciones para distintos valores de M y N que cubren el campo de compresión centrada a flexión compuesta con gran excentricidad.

■ **Secciones y solicitaciones:** Se estudia una sección de columna o parante de pórtico de sección rectangular, de relación de lados 1 a 4 y de 3m de altura. Dicha sección se dimensionará para distintos pares de valores momento-esfuerzo normal, de manera de abarcar distintos tipos de solicitaciones desde la compresión centrada hasta la flexión dominante.

■ **Calidad de Hormigón:** La sección especificada en el punto anterior, se dimensiona también para distintas calidades de hormigón, basándose en utilizar hormigones de componentes tradicionales a los que sólo se les adiciona superfluidificantes, sin recurrir a adiciones minerales. El punto de partida adoptado, si bien implica un alto consumo de cemento y una limitación de la resistencia cilíndrica a compresión del hormigón a valores del orden de los 50/60 Mpa, **mantiene tanto el costo de producción como la tecnología para su obtención dentro de parámetros fácilmente manejables para la industria elaboradora.** Dentro de este marco, los cálculos se realizan para: C20, C30, C40 y C50.

■ **Calidad de Acero:** los cálculos se hacen para S420 y S500 para poder comparar también la incidencia que tiene sobre los costos la utilización de un acero de mayor calidad.

■ **Reglamento de aplicación:** Euro Código EC2

■ **Costos:** si bien el trabajo se basa en costos absolutos vigentes actualmente en Argentina, el análisis se basa en los costos relativos al comparar los valores resultantes, razón por la cual, las conclusiones pueden tener validez mas general.

■ **Encofrados:** 20.4 u\$/m<sup>2</sup> de perímetro mojado, valor que incluye amortización de madera en cinco usos y mano de obra para su ejecución.

■ **Hormigón:** para las distintas calidades de hormigón se consideran los siguientes precios en u\$/m<sup>3</sup>. Estos, incluyen: Materiales constitutivos, elaboración, costo del control de calidad, y mano de obra de colocación del hormigón.

C20	C30	C40	C50
68	75	84	89

■ **Acero:** para las distintas calidades de acero se consideran los siguientes precios en u\$. Estos, incluyen: Material y mano de obra relativa al acarreo, corte, doblado y colocación de las armaduras.

f <sub>y</sub> k 420 MPa	f <sub>y</sub> k 500 MPa
950	1050

■ **Consideraciones adicionales:** se tuvo en cuenta: el desperdicio medio del hormigón y del acero, los estribos y los empalmes de las armaduras.

■ **Verificación de secciones:** Los análisis se realizaron según dos criterios límites de dimensionamiento posibles:

- ◆ Caso A: Se determina la sección de encofrado necesaria a partir de cuantías eométricas totales de armaduras adoptadas del 1.5%, 2%, 3% y 4%.
- ◆ Caso B: Se mantiene la sección inicial de encofrado determinada para un hormigón de menor calidad y se calculan las cuantías de armadura necesarias empleando otro de mayor resistencia.

Las solicitaciones características externas adoptadas son:

- ◆ CASO 1: N= 5000 kN; M= 0 kNm
- ◆ CASO 2: N= 5000 kN; M= 500 kNm
- ◆ CASO 3: N= 5000 kN; M= 1250 kNm
- ◆ CASO 4: N= 5000 kN; M= 3000 kNm

Se adoptó un coeficiente de mayoración global para calcular las solicitaciones de diseño de 1,45.

En ambos, Casos A y B, con los análisis de precios establecidos se determinan los costos resultantes y se realizan los correspondientes análisis comparativos.

## RESULTADOS

Se presentan los resultados obtenidos de mayor interés:

### \* Caso A

- ◆ Área de hormigón necesaria para distintas cuantías y aceros S420 y S500 en función de la resistencia del hormigón, casos de solicitación, 1 a 4. (Fig. 2, 3, 4 y 5)

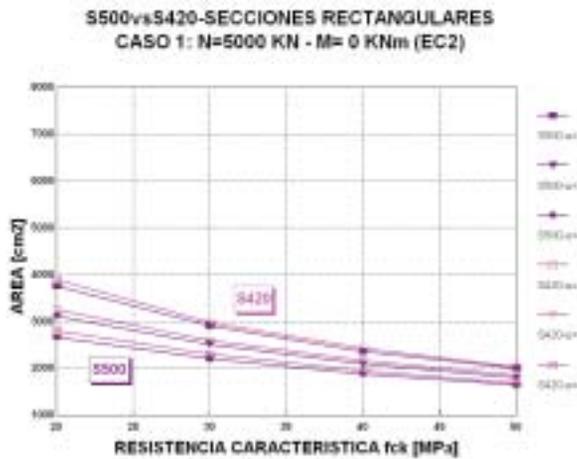


Figura 2. Área de hormigón, caso 1.

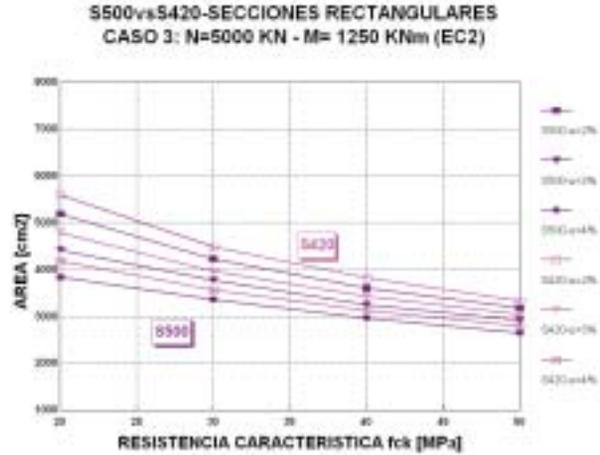


Figura 4 Área de hormigón, caso 3.

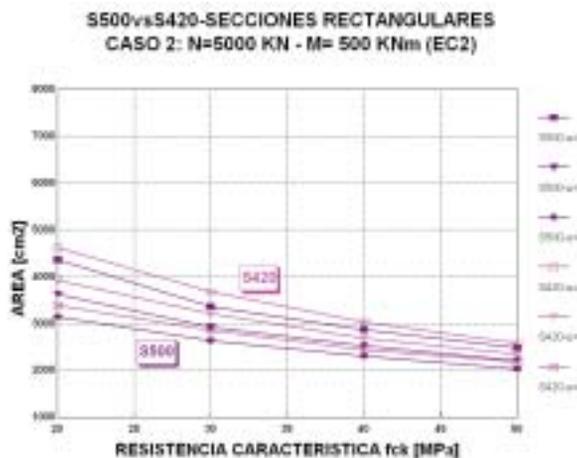


Figura 3. Área de hormigón, caso 2.

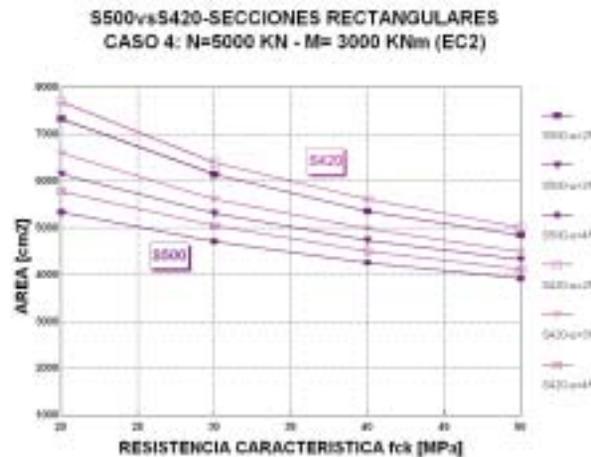


Figura 5. Área de hormigón, caso 4.

- ◆ Gráficos de comparación de los costos relativos (Fig. 6 y 7) para ambos aceros, cuantías de 1,5% y 4%, para los cuatro casos de sollicitación analizados.

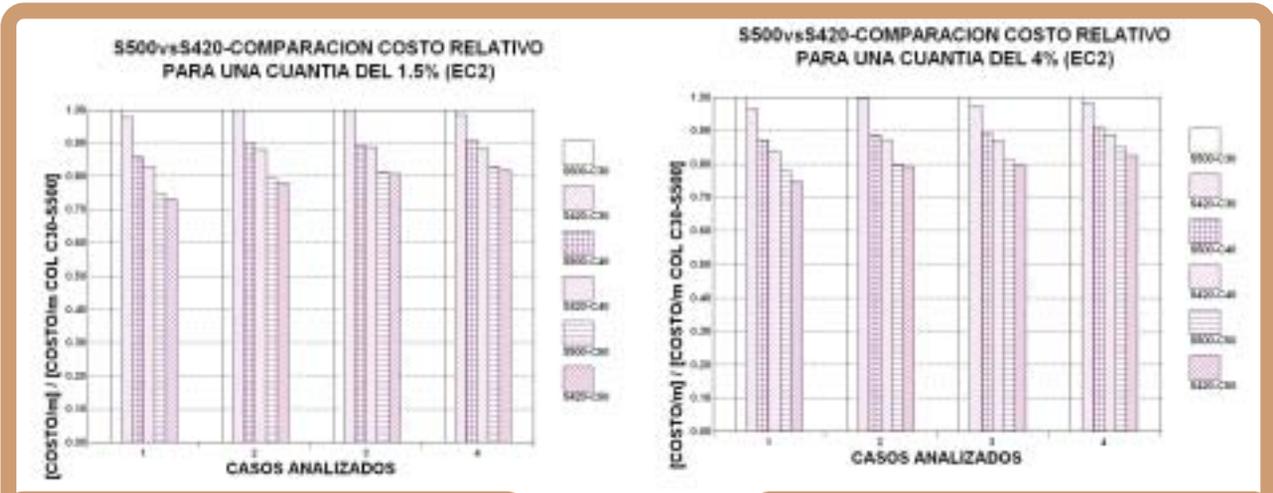


Figura 6 Costo relativo para cuantía de 1,5%.

Figura 7 Costo relativo para cuantía de 4%.

**\* Caso B**

- ◆ Cuantía geométrica necesarias con el área constante, para los casos de sollicitación 1 y 4 en función de la calidad del hormigón, para acero S420 y S500. (Fig. 8 y 9).

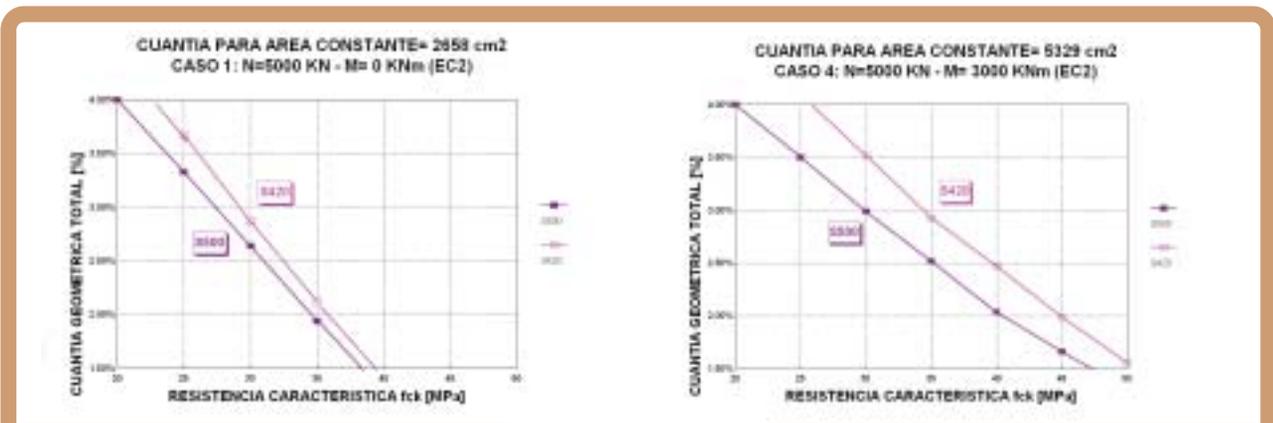


Figura 8. Cuantía geométrica. Caso 1.

Figura 9. Cuantía geométrica. Caso 2.

- ◆ Costo resultante con área constante para los casos 2 a 4, con aceros S420 y S500. (Fig. 10 y 11).

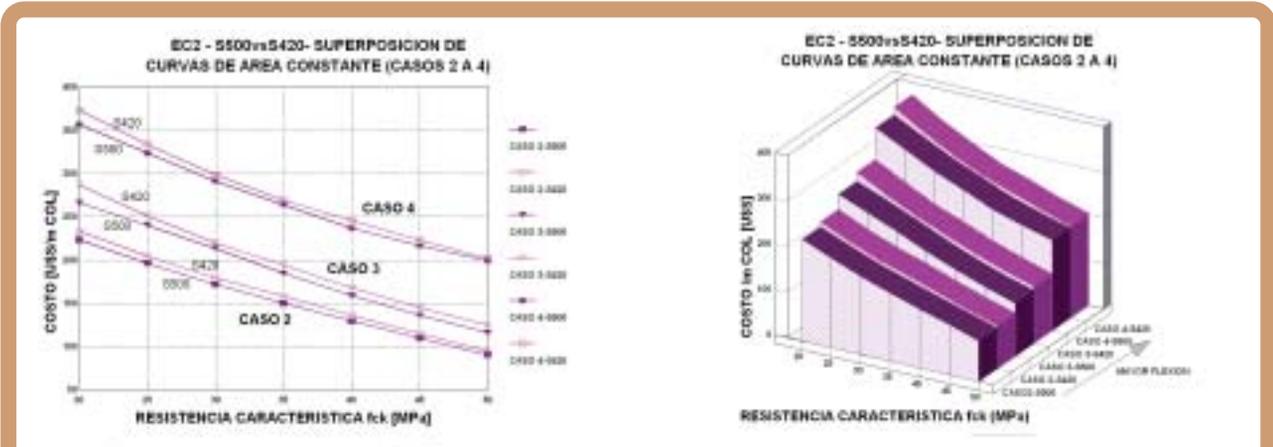


Figura 10. Costos. Casos 2-4.

Figura 11. Costos. Casos 2-4.

◆ Variación del costo manteniendo el área constante para los cuatro casos analizados y los dos tipos de acero, según el rango de variación de la resistencia a compresión del hormigón.

- a- Área de hormigón variable. Tabla 2.  
b- Área de hormigón constante. Tabla 3.

Tabla 2. REDUCCION DEL COSTO AL AUMENTAR LA RESISTENCIA DEL HORMIGON VARIANDO EL AREA DE LA COLUMNA CON CUANTIAS DE ARMADURA GEOMETRICAS PREDETERMINADAS

RANGO DE VARIACIÓN DE LA CALIDAD DEL HORMIGON	ACERO S500			
	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
	$\mu=1.5\% / 4.0\%$	$\mu=1.5\% / 4.0\%$	$\mu=1.5\% / 4.0\%$	$\mu=1.5\% / 4.0\%$
C20→C30	20.4% / 16.4%	20.8% / 15.5%	16.8% / 12.3%	15.3% / 12.1%
C20→C40	31.8% / 27.1%	29.0% / 24.9%	25.7% / 21.9%	22.9% / 19.9%
C20→C50	<b>40.5% / 34.9%</b>	<b>37.2% / 32.5%</b>	<b>32.5% / 29.0%</b>	<b>29.8% / 25.3%</b>
C30→C40	14.4% / 12.8%	10.3% / 11.1%	10.6% / 10.9%	9.0% / 8.8%
C30→C50	25.3% / 22.1%	20.6 / 20.2%	18.9 / 19.0%	17.2% / 15.0%
C40→C50	12.7% / 10.6%	11.5% / 10.2%	9.2% / 9.1%	9.0% / 6.8%

RANGO DE VARIACIÓN DE LA CALIDAD DEL HORMIGON	ACERO S420			
	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
	$\mu=1.5\% / 4.0\%$	$\mu=1.5\% / 4.0\%$	$\mu=1.5\% / 4.0\%$	$\mu=1.5\% / 4.0\%$
C20→C30	20.0% / 16.2%	18.3% / 14.7%	17.2% / 14.0%	14,5% / 12.4%
C20→C40	32.1% / 27.1%	29.2% / 25.3%	27.3% / 23.2%	23.4% / 20.8%
C20→C50	<b>40.0% / 34.9%</b>	<b>37.1% / 32.0%</b>	<b>33.9% / 29.9%</b>	<b>28.8% / 26.4%</b>
C30→C40	15.2% / 13.1%	13.4% / 12.4%	12.2% / 10.7%	10.4% / 9.6%
C30→C50	25.1% / 22.4%	23.0 / 20.3%	20.2 / 18.5%	16.7% / 16.0%
C40→C50	11.6% / 10.7%	11.2% / 9.0%	9.0% / 8.7%	6.9% / 7.1%

Tabla 3. REDUCCION DEL COSTO AL AUMENTAR LA RESISTENCIA DEL HORMIGON MANTENIENDO EL AREA DE LA COLUMNA CONSTANTE CON CUANTIAS GEOMETRICAS DE ARMADURA VARIABLES

RANGO DE VARIACIÓN DE LA CALIDAD DEL HORMIGON	ACERO S500			
	CASO 1 N=5000KN-M=0KNm	CASO 2 N=5000KN-M=500KNm	CASO 3 N=5000KN-M=1250KNm	CASO 4 N=5000KN-M=3000KNm
C20→C30	21.1%	22.0%	18.6%	17.2%
C20→C40	40.3%	39.7%	37.9%	31.2%
C20→C50	<b>59.6%</b>	<b>56.7%</b>	<b>52.9%</b>	<b>39.7%</b>
C30→C40	24.3%	22.7%	23.7%	17.0%
C30→C50	48.7%	43.9	42.1%	27.2%
C40→C50	32.3%	27.4%	24.1%	12.4%

RANGO DE VARIACIÓN DE LA CALIDAD DEL HORMIGON	ACERO S420			
	CASO 1 N=5000KN-M=0KNm	CASO 2 N=5000KN-M=500KNm	CASO 3 N=5000KN-M=1250KNm	CASO 4 N=5000KN-M=3000KNm
C20→C30	22.7%	22.1%	21.9%	18.7%
C20→C40	39.6%	39.6%	39.0%	31.7%
C20→C50	<b>53.7%</b>	<b>56.3%</b>	<b>53.2%</b>	<b>41.5%</b>
C30→C40	21.9%	22.4%	21.9%	16.0%
C30→C50	40.1%	43.8%	40.1%	28.0%
C40→C50	23.3%	27.6%	23.3%	14.3%

Se resaltan en negrita los porcentuales de disminución de costo al pasar de un hormigón clase C20 a uno C50.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

**Dentro del rango de sollicitación analizado, con el uso de hormigones de mayor resistencia se verifica que:**

- ◆ Manteniendo **las cuantías de acero constante,**

1- La mayor reducción de área de encofrado con el aumento de la resistencia del hormigón, se origina para las calidades de hormigón más bajas y las menores cuantías.(Fig. 2 a 5)

2- La mayor reducción porcentual de área de hormigón con la utilización del acero de mayor resistencia se da para las calidades más bajas de hormigón, las mayores cuantías y las mayores sollicitaciones de flexión.

3- **En todos los casos de sollicitación analizados, disminuye el costo del elemento estructural al aumentar la calidad del hormigón.** Los mayores porcentajes de disminución se verifican para las menores sollicitaciones de flexión y/o menores cuantías de acero. (Fig. 6 y 7)

4- **La utilización de uno u otro tipo de acero no tiene incidencia significativa en el costo unitario del elemento estructural.**

- ◆ Manteniendo **la sección de hormigón constante, se verifica que:**

1- **La disminución de cuantía geométrica necesaria con el incremento de la resistencia del hormigón es más significativa en la medida en que predominan los esfuerzos de compresión sobre los de flexión.** (Fig.8 y 9)

**2- La utilización de las menores cuantías posibles conduce a elementos estructurales de menor costo** (Fig. 10 y 11)

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los valores de los materiales y mano de obra adoptados, la incorporación de tecnología simple que permita elaborar y emplear correctamente hormigones de mayor resistencia, trae aparejado en los elementos estructurales flexocomprimidos, tal el caso de columnas, pórticos, tabiques, etc., una notable disminución del costo de inicial.

Estas economías son más notables cuanto mayor es la incidencia de la compresión frente a la flexión.

La magnitud de las economías señaladas no se alcanzan en los entrepisos sollicitados preponderantemente a flexión, tal como se desprende de la menor disminución porcentual del costo que se refleja a medida que se incrementan las sollicitaciones de flexión. Sin embargo, se puede aprovechar la mayor resistencia con diseños o programas de desarrollo de obra que utilicen favorablemente esta cualidad, evitando una práctica engorrosa como es la de especificar hormigones de distinta resistencia según los elementos estructurales.

Proyectos donde se diseñen entrepisos pretensados, secciones huecas, entrepisos mixtos, o donde se den situaciones que requieran plazos de obra reducidos y/o una reutilización de encofrados muy intensa, constituyen situaciones ideales para un aprovechamiento integral de la mayor resistencia del hormigón, haciendo extensivas las economías, a toda la estructura y a todo el proceso constructivo.

## Concurso para Estudiantes de Arquitetura e Engenharia Civil

# OUSADIA 2005

Elaborar anteproyecto de una ponte sobre o Rio Pina, em Recife/PE que consta do projeto viário da VIA MANGUE, previsto pela Empresa de Urbanização do Recife.

### Prêmios

Equipe vencedora - um Estágio para os estudantes de Arquitetura, no estúdio do Arquiteto Ruy Ohtake e para os estudantes de Engenharia no escritório do Engenheiro Fernando Stucchi.

### Comissão Julgadora

- Arq. Ruy Ohtake - SP
- Arq. Isidoro Gil-Silveira - PE
- Arq. Bruno Ferraz - IAB - RJ
- Arq. César de Barros - URB Recife - PE
- Eng. Bruno Cavallari - RC Engenharia - RJ
- Eng. António Adão da Fonseca - Portugal
- Eng. Fernando Stucchi - EPUSP-SP
- Eng. Hugo Correa - Espanha
- Eng. Moacyr Lins de Albuquerque - PE
- Eng. Paulo Helene - IBRACON - SP

### Comissão Organizadora

- Arq. Fernanda Pereira (chairwoman)
- Arq. Ricardo Alencar
- Arq. Alexandre Andrade
- Arq. Andrea Banico
- Arq. Anelizabeth Teixeira
- Eng. Carlos Vieira de Melo
- Eng. Ilo Barba

### Inscrição:

03 de Abril a 31 de Julho de 2005  
[www.ibracon.org.br/47cbc/concurso.php](http://www.ibracon.org.br/47cbc/concurso.php)

### Consulta

[Ricardo@ibracon.org.br](mailto:Ricardo@ibracon.org.br)



# Engenharia: profissão para o desenvolvimento do homem

Quem pensa que a profissão de engenheiro civil resume-se em fazer cálculos, desenhar projetos, gerenciar métodos construtivos e materiais e exercer o controle de qualidade nas obras deveria dar uma olhada no novo Código de Ética Profissional adotado pelo Confea (Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia). O documento tem como fundamento basilar a concepção de que a profissão é um bem social e cultural da humanidade. Por isso, todo trabalho do profissional é dirigido para o ser humano e para a melhoria do bem estar do homem. "O Código de Ética Profissional baseou-se na compreensão de que as profissões, além de científicas, tecnológicas e artísticas, são de caráter humanístico", enfatiza o Prof. Wilson Lang, presidente do Confea.

Essa nova visão da profissão "coincide com os princípios básicos que sempre nortearam as atividades do IBRACON desde sua fundação, qual seja o da promoção ética do conhecimento sobre concreto", ressalta o Prof. Paulo Helene.

O Código possibilita às entidades a faculdade de exigir condutas adequadas de seus associados e desenvolver a prática de uma profissão pautada em princípios éticos no dia-a-dia. Elas podem e devem incorporar, em seus estatutos, o dever de observância das normas éticas comuns. Já, o aspecto da infração ética é examinado em processos disciplinares, cuja competência julgadora, em primeira instância, é das Câmaras Especializadas dos CREAs.

Um princípio de conduta técnica contemplado no novo Código e passível de punição no âmbito das Câmaras Especializadas diz respeito ao princípio da sustentabilidade das ações profissionais. Ele preconiza que, quando da elaboração de projetos, execução de obras ou criação de novos produtos, os atos de ofício devem atender à conservação de energia e à minimização dos impactos ambientais.

O novo Código de Ética Profissional entende a profissão como bem social da humanidade e o profissional, o agente capaz de exercê-la, tendo em vista sua busca constante do "bem-estar e desenvolvimento do homem, em seu ambiente e em suas diversas dimensões: como indivíduo, família, comunidade, sociedade, nação e humanidade; nas suas raízes históricas e nas gerações atual e futura".

Obtenha o Código de Ética Profissional gratuitamente no site do Confea  
([www.confea.org.br](http://www.confea.org.br))

## PARA REFLEXÃO DOS GOVERNANTES

---

**CARTA DE VAUBAN<sup>1</sup> A LOUVOIS,  
SUPERINTENDENTE DAS CONSTRUÇÕES DA FRANÇA  
NO REINADO DE LUIS XIV, EM 1683**

---

Senhor,

Existem algumas pontas de obras dos últimos anos que não estão terminadas e que nunca irão sê-lo. E tudo isso, Senhor, devido à confusão causada pelos freqüentes rebajamentos de preços que se fazem nas obras de Vossa Mercê, pois é certo que todos esses rompimentos de contratos, descumprimentos de palavra e aditivos de adjudicações não servirão senão para atrair a Vossa Mercê, como Empreiteiros, todos os miseráveis que não sabem onde dar com a cabeça, os trapaceiros e os ignorantes. E afastar de Vossa Mercê todos aqueles que têm o que perder e que são capazes de conduzir uma Empresa.

Digo, ainda mais, que atrasam e encarecem consideravelmente as obras, que são as piores possíveis, pois os abatimentos e bons negócios, tão desejados, são imaginários, pois um Empreiteiro em prejuízo se assemelha a um homem que se afoga e que se segura a tudo que pode. Ora, segurar-se a tudo o que se pode, para um Empreiteiro, é não pagar aos comerciantes que lhe oferecem os materiais: é pagar mal aos trabalhadores que ele emprega e trapacear todos aqueles que pode; é não ter senão os piores operários, posto que recebem menos que os outros; é não empregar senão os materiais de pior qualidade; é, sem razão, questionar a respeito de tudo e, ao fim, sempre gritar misericórdia a uns e outros.

Eis pois, Senhor, o bastante para fazer ver a Vossa Mercê a imperfeição dessa conduta; abandone-a, então, e em nome de Deus: **RESTABELEÇA A BOA FE.**

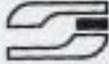
**DÊ ÀS OBRAS O SEU PREÇO E NÃO RECUSE UMA REMUNERAÇÃO HONESTA AO EMPREITEIRO PARA QUE CUMpra O SEU DEVER, ESTE SERÁ SEMPRE O MELHOR NEGÓCIO QUE VOSSA MERCÊ PODERÁ FAZER.**

Vauban  
17 de julho de 1683

---

1 — O Marquês Sebastião Le Prestre de Vauban (1633-1707) é considerado o melhor Engenheiro Militar que a França conheceu. Ao longo de sua vida, reparou 300 fortificações, construiu 33 novas, dirigiu 53 cercos e preceps fortes e realizou importantes obras civis. Desenvolveu ainda como Economista, e ele devendo-se a proposta de um sistema tributário igualitário e racional.

---

Contribuição:  **SINDUSCON-BA**  
ASSOCIAÇÃO DA ENGENHARIA DA CONSTRUÇÃO DO ESTADO DA BAHIA  
CNPJ nº 07.040.888/0001-00

Artigo publicado no jornal A Tarde, em 07 de março de 1996.

# Selo de Qualidade ABCP para Blocos de Concreto de Alvenaria e Pavimentação e Tubos de Concreto.

## Seu produto merece esse destaque!



Desde que foi lançado, mais de 60 fábricas aderiram ao Programa do Selo de Qualidade da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

### COMO FUNCIONA O PROGRAMA

- O fabricante adere ao programa para obter o selo para um produto
- Técnicos inspecionam a fábrica, coletam amostras e realizam ensaios
- Se o processo e as amostras são aprovados, o selo é concedido
- Avaliações periódicas, durante a participação do programa, mantêm o Selo de Qualidade
- Caso o produto não seja aprovado, pode-se conceder apoio técnico para melhoria do processo produtivo
- Os produtos com Selo de Qualidade são divulgados na Internet

Produtos com qualidade comprovada proporcionam:

- redução de desperdícios
- uso otimizado de matéria-prima
- aumento de produtividade
- redução do custo final

Hoje, o Selo de Qualidade ABCP é referência para empresas, prefeituras e órgãos públicos.



O laboratório da ABCP é completo.  
Faça um teste.



**Não deixe de dar destaque  
ao seu produto!**

Solicite um técnico.

Informações



0800-555776 • dcc@abcp.org.br • www.abcp.org.br

# A EXECUÇÃO DA PONTE SOBRE O RIO GUAMÁ “O COLOSSO DO PARÁ”

José Oscar Brun Filho  
Ger. de Engenharia do Consórcio Novo Guamá

Eng.º José Zacarias Rodrigues da Silva Jr.  
Diretor Concreteste

## INTRODUÇÃO

Há muito que o estado do Pará sonhava com a integração entre as regiões mais longínquas do estado que possui dimensões de nação. E o projeto da Alça Viária veio responder aos anseios paraenses no sentido de alavancar o desenvolvimento desta região.

A Ponte sobre o Rio Guamá, é uma estrutura que muito vem contribuir para o desenvolvimento da engenharia nacional, tal a implementação das pesquisas tecnológicas desenvolvidas no laboratório, para que os requisitos de desempenho estabelecidos no projeto fossem atendidos. Como o cronograma estabelecido para executar este projeto foi exíguo, cerca de 20 meses de trabalho, a pré-fabricação das peças se tornou um mecanismo de racionalização do processo construtivo desta estrutura.

E ao longo de sua execução, utilizou-se na estrutura desta obra o concreto de alto desempenho para atendimento aos requisitos de projeto bem como atender aos preceitos de vida útil e durabilidade do concreto.

Na verdade, o objetivo maior da equipe de trabalho deste empreendimento era obter uma estrutura de elevado desempenho para fazer face aos diversos níveis de agressividade ambiental.

Segundo LIBÓRIO(2004), o volume de recursos usados em construções de estruturas de concreto no Brasil pode atingir a cifra de 3 trilhões de dólares. Afirma ainda que *"a qualidade de uma construção, para o usuário, poderia ser definida como um sentimento de bem estar, pela beleza do empreendimento, estruturalmente segura e estável, custo compatível, acesso fácil, conforto visual e tátil, enfim, integrada ao próprio ser humano e ao ambiente"*.

## OBJETIVO

A execução desta estrutura tem um objetivo social,

que transcende a percepção normal dos usuários, posto que se trata de uma obra que foi construída em plena selva amazônica, e que vai promover a integração do estado do Pará, unindo a capital aos mais longínquos rincões paraenses. Com isso, alavancará o desenvolvimento da região.

Ao mesmo tempo que tenta desmistificar a idéia da impossibilidade de se executar concretos de elevado desempenho em obras da região norte e com os materiais agregados da região (seixo e areia).

## DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

Esta ponte tem sua concepção arquitetônica, com um trecho chamado corrente constituído de vigas protendidas com seção transversal em "I", com comprimento de 45 m. Estas vigas estão apoiadas em blocos de concreto, que por sua vez repousam sobre estacas pré-moldadas protendidas com comprimentos variando entre 50 e 60 metros. Além de vãos estaiados cujas aduelas ficarão suspensas por cabos protendidos cravados em dois mastros com 102 m de altura cada, existem as pre-lajes e o tabuleiro. A tabela 2.1 é um quadro resumo dos quantitativos das peças pré-fabricadas.

Tabela 2.1 - Quadro Resumo das Características das Peças Pré-fabricadas

CONCRETO ESTRUTURAL - FCK = VARIADO	32.754,00 m <sup>3</sup>
AÇO CA-50 3 CA-25	4.390,00 t
AÇO CP-190 RB	612,00 t
FORMAS	164.425,00 m <sup>2</sup>
ESTACAS PRÉ-TENDIDAS - Ø 0,80m	22.000,00 ml
ESTACAS MISTAS - METÁLICAS E CONCRETO - Ø 0,80m	4.500,00 ml
ESTACAS DE CONCRETO CENTRIFUGADA - Ø 0,50m	5.000,00 ml
TABULEIRO DE PONTE	25.000,00 m <sup>2</sup>
VIGAS PRÉ-MOLDADAS PROTENDIDAS P/ VÃO DE 45m	90,00 un
ADUELAS PRÉ-MOLDADAS COM PESO UNITÁRIO DE 145t	69,00 un
CONCRETO DO MAIOR BLOCO SOBRE ÁGUA	1.591,00 m <sup>3</sup>
FORMAS DESLIZANTES	7.472,00 m <sup>2</sup>
FORMAS DO TIPO TREPANTE	2.772,00 m <sup>2</sup>
PRÉ-LAJES EM PEÇAS PRÉ-MOLDADAS DE 0,29m <sup>3</sup> CADA	5.040,00 un

## TECNOLOGIAS APLICADAS

Utilizou-se no processo construtivo: estacas, vigas e aduelas protendidas além de pré-lajes, todas fabricadas no sistema de pré-fabricação.

As torres que suportam os cabos estaiados foram executadas no sistema de fôrma deslizante até a viga de transição, e acima dela, usou-se a fôrma trepante.

Os blocos e pilares da ponte foram executados com concreto convencional.

Os blocos que suportam as torres do vão estaiado tiveram um tratamento de concreto massa, sendo concretados em etapas para evitar tensões de tração de origem térmica, bem como na dosagem de concreto dos mesmos teve-se o cuidado de realizar o balanço térmico para reduzir ao máximo a temperatura de lançamento deste concreto.

## ESTACAS

As estacas foram moldadas no canteiro de obra com geometria vazada, executada em fôrma metálica, e no centro das estacas eram introduzidos uma forma plástica base polímero (poliuretano), retiradas logo após o concreto ter atingido o tempo de pega.

Estas estacas foram concretadas sobre um berço de concreto, onde os caminhões betoneira lançavam o concreto fabricado numa central dosadora dentro do canteiro de obra. Estas estacas eram curadas de forma acelerada para que após 24 horas fossem transportadas para o pátio de armazenagem onde recebia a cura úmida até a data de cravação. Após as primeiras estacas produzidas, sustou-se a cura acelerada e optou-se pela utilização de um aditivo hiperplastificante de última geração à base policarboxílico, que além de reduzir as perdas de resistência do concreto na idade de 28 dias, melhorou sensivelmente o desempenho do concreto, tanto no estado fresco como no endurecido. A figura 1 mostra a seção transversal das estacas.

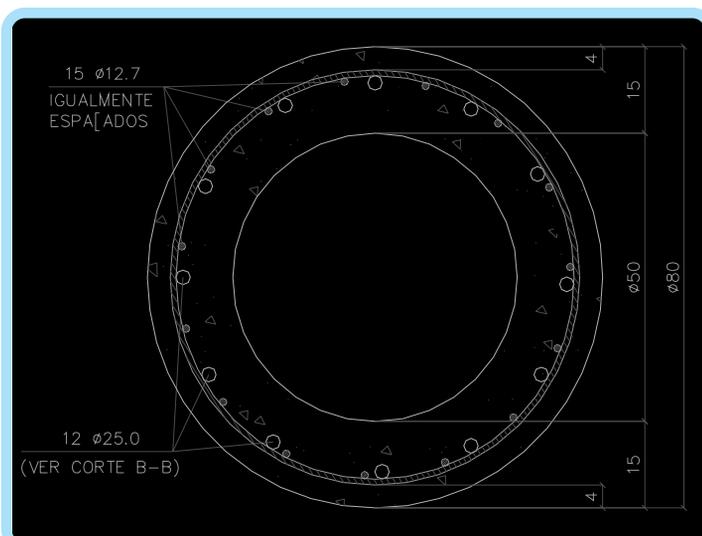


Figura 1 - Seção transversal da estaca



Foto 1 - Etapa de armação da estaca.



Foto 2 - Armação e espessadores.

As fotos 1 e 2 mostram a etapa de armação das estacas vendo-se as armaduras passivas e as cordoalhas posicionadas para serem pré-tensionadas.

Uma das preocupações do controle de qualidade foi a garantia da durabilidade destas peças, e para isto usou-se o cobrimento da armadura igual a 5 cm, sendo que as pastilhas foram produzidas com o mesmo traço utilizado na fabricação das estacas para que não houvesse nenhuma descontinuidade dentro da estaca que provocasse diferença de desempenho.

Vê-se ainda no mesmo detalhe a forma interna constituída de poliuretano, cuja retirada se dava após o tempo de pega do concreto. O concreto era fabricado numa central dosadora dentro do canteiro e, para melhoria do seu desempenho tanto no estado fresco como no endurecido, adicionou-se o aditivo hiperplastificante de terceira geração à base policarboxílico, para que com isto se pudesse ter a trabalhabilidade necessária para o concreto, bem como poder transportar a peça para o pátio de estocagem após 24 horas.

## CARACTERÍSTICAS DA PEÇA

1. Armadura Longitudinal  
12 Barras CA-50  $\varnothing$  25.0  
15 Cordoalhas de Aço galvanizado  $\varnothing$  12.5
2. Dimensões das Estacas  
Menor comprimento da estaca = 25m.  
Maior comprimento da estaca = 50m.  
Diâmetro da estaca = 0,80m.  
Espessura da parede da estaca = 0,15m.
3. Concreto  
Fck = 35MPa
4. Cura do concreto  
Úmida  
A vapor

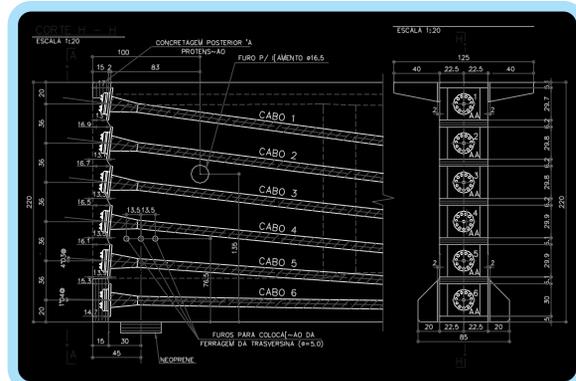


Figura 3 – Corte da seção transversal e longitudinal das vigas

A tabela 1 mostra os resultados obtidos nos ensaios de compressão do concreto das estacas.

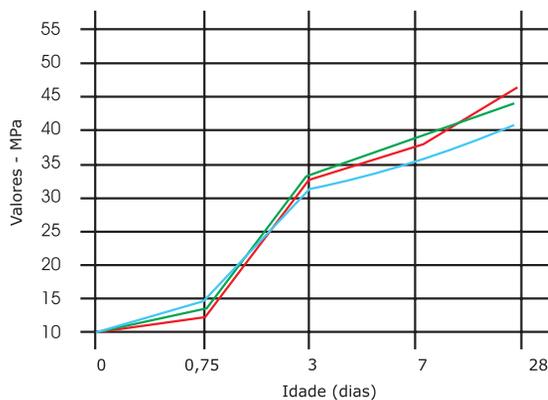
Tabela 1 - Evolução das resistências das estacas pré-moldadas

Estaca	18 horas	3 dias	7 dias	28 dias	Ec (28)
	0,75	3	7	28	
AM-01	22,7	40,8	49,0	52,2	27,130
AM-02	7,5	40,1	48,8	50,4	20,210
AM-03	24,2	40,8	49,0	51,3	22,370

### Dados Técnicos:

T.U.P.: 1;1,240;2,396  
a/c:0,36  
c:487Kg / m<sup>3</sup>  
aditivo: Hiper-plastificante (0,5%)

Gráfico da Evolução da Resistência



AM-01 — AM-02 — AM-03 —

## VIGAS LONGARINAS

As vigas que compõem o trecho chamado corrente, ou seja, o trecho formado por vigas que se apoiam sobre a infra-estrutura, tem a sua seção transversal em perfil "I", protendidas e com todo o processo construtivo executado no canteiro de obra. A figura 3 mostra um corte da seção longitudinal e transversal das vigas, com detalhes das armaduras e das dimensões das peças. As fotos 3 e 4 representam

as etapas de desforma e protensão das vigas no canteiro. Estas vigas, após a protensão, são içadas e transportadas aos seus respectivos apoios através de uma treliça metálica.

De uma forma geral, estruturas de concreto pré-moldado são empregadas em edificações industriais, em virtude da economia e na redução do tempo de execução da construção, posto que se tratam de peças produzidas em série. Neste empreendimento, usou-se a tecnologia do pré-moldado tanto para atender ao cronograma como também para obter peças de melhor acabamento e qualidade (FAIRBANKS, 2004).



Foto 3 – Desforma e protensão das vigas.



Foto 4 – Desforma das vigas.

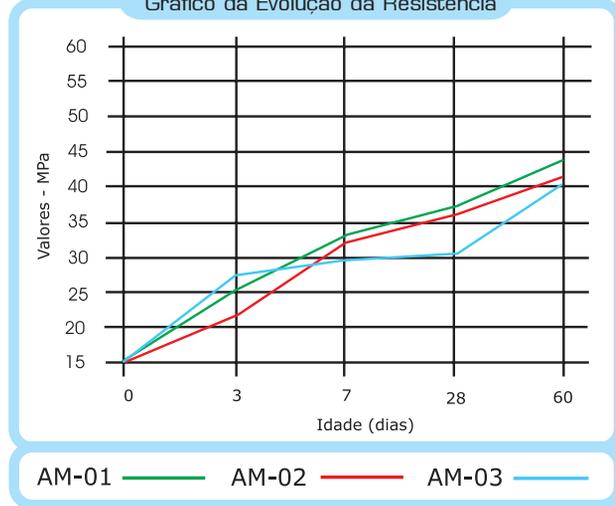
A tabela 2 mostra os resultados obtidos nos ensaios de compressão do concreto das vigas.

Vigas	3 dias	7 dias	28 dias	60 dias
	3	7	28	60
AM-01	25,6	33,0	37,5	44,2
AM-02	22,6	32,3	36,0	42,4
AM-03	28,9	29,0	31,2	44,4

**Dados Técnicos:**

T.U.P.: 1;1,240;2,396  
 a/c:0,36  
 c:487Kg / m<sup>3</sup>  
 aditivo: Hiper-plastificante (0,5%)

Gráfico da Evolução da Resistência



**CARACTERÍSTICAS DA PEÇA**

1. Armação Longitudinal  
 06 Bainhas  
 12 Cordoalhas de Aço Galvanizado Ø15.2 por bainha  
 3960Kg de Aço CA-50
2. Dimensões das vigas  
 Comprimento = 45m  
 Altura = 2,20m  
 Largura da mesa = 1,25m
3. Concreto  
 Fck = 30MPa
4. Cura do Concreto  
 Cura úmida/química
5. Peso  
 100Tf

**ADUELAS PRÉ-MOLDADAS**

As aduelas são as peças estruturais que fazem parte do trecho estaiado e que originariamente seriam executadas *in loco*, porém, com o ajuste do cronograma de execução, optou-se pela pré-fabricação das mesmas. Estas aduelas eram compostas por 2 vigas externas ligadas por uma laje que fazia parte

do tabuleiro, ligadas também por 4 transversinas que faziam parte do conjunto e garantiam maior rigidez à peça. Dentro destas aduelas foram introduzidos tubos guias por onde eram introduzidos os estais. A figura 5 mostra um corte transversal e longitudinal das aduelas. Estas aduelas por necessidade de atendimento ao cronograma foram desformadas 24 horas após a concretagem, e este objetivo só foi conseguido com o uso do aditivo hiper plastificante e uma cura úmida bem efetiva, que permitiu o acréscimo das resistências iniciais e finais do concreto. As fotos 5 e 6 mostram as etapas de execução destas peças antes de serem transportadas para o local onde seriam içadas e depois protendidas. A foto 7 mostra a operação de içamento das aduelas para o vão estaiado.

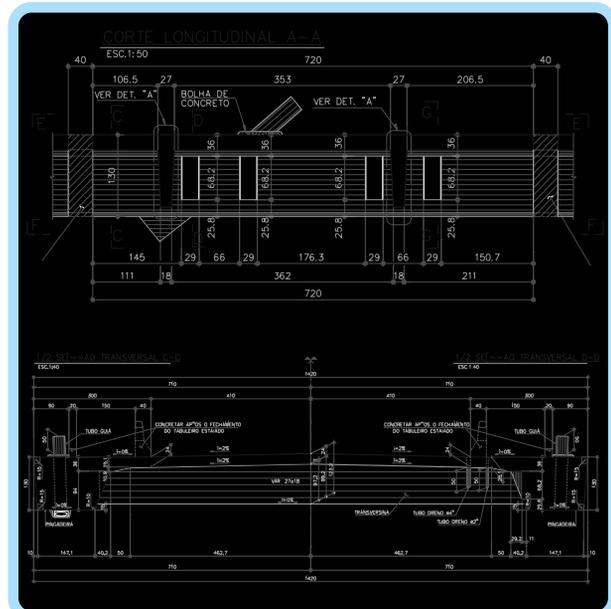


Figura 5 – Corte da seção transversal e longitudinal das aduelas.



Foto 5 – Forma das aduelas pré-moldadas



Foto 6 – Cura do concreto das aduelas

A tabela 3 mostra os resultados obtidos nos ensaios de compressão do concreto das aduelas.

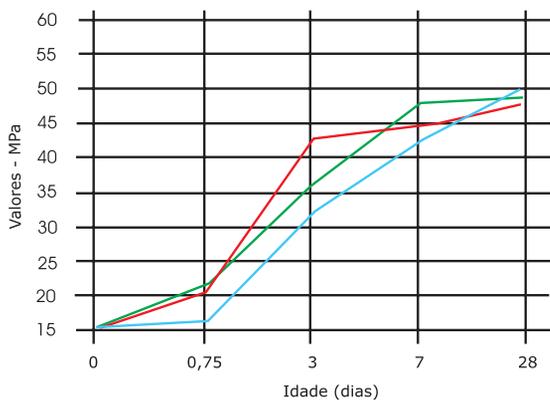
Tabela 3 - Evolução das resistências das aduelas pré-moldadas

Vigas	18 horas	3 dias	7 dias	28 dias	Ec (28)
	0,75	3	7	28	
AM-01	23,0	36,6	48,4	49,0	20,415
AM-02	22,5	43,4	45,9	48,8	24,338
AM-03	17,8	32,9	43,3	50,2	27,387

**Dados Técnicos:**

T.U.P.: 1; 1,240; 2,396  
 a/c: 0,36  
 c: 487Kg / m<sup>3</sup>  
 aditivo: Hiper-plastificante (0,5%)

Gráfico da Evolução da Resistência



AM-01 — AM-02 — AM-03 —

**CARACTERÍSTICAS DA PEÇA**

- Armação  
 Aço CA-50 = 6118Kg  
 Aço CA-25 = 43Kg  
 Barras Dywidag = 27Kg
- Dimensões de uma Aduela  
 Comprimento = 7,20m  
 Largura = 14,20m  
 Tubo forma por aduela = 2und

- Concreto  
 $f_{ck} = 40\text{MPa}$
- Cura do Concreto  
 Cura Química

**PRÉ-LAJES**

São peças estruturais que foram concebidas para servir de forma ao tabuleiro, ao guarda-corpo e ao guarda-rodas, posto que seria inviável montar um sistema de forma e escoramento no meio do rio. A figura 5 mostra o detalhe das pré-lajes através de um corte longitudinal, enquanto as fotos 7 e 8 mostram o processo executivo e o transporte das pré-lajes para a ponte. Isto encurtou o tempo de execução bem como racionalizou o sistema de forma para o tabuleiro.

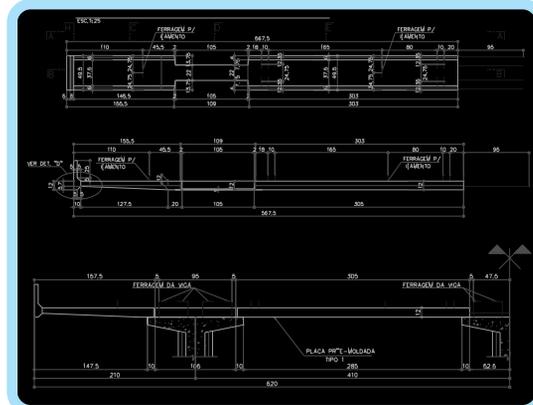


Figura 6 – mostra o detalhe das pré-lajes através de um corte longitudinal



Foto 7 – Concretagem das pré-lajes



Foto 7 – Concretagem das pré-lajes

A tabela 4 mostra os resultados obtidos nos ensaios de compressão do concreto das pré-lajes.

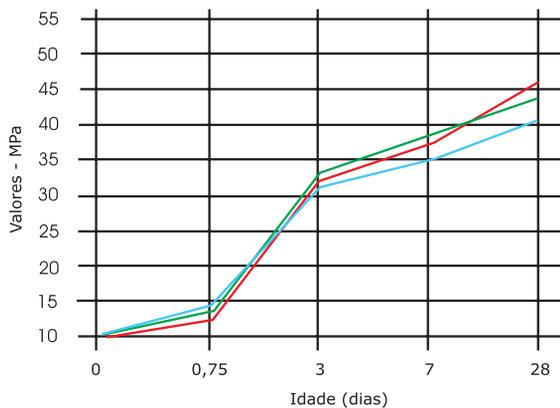
Tabela 4 - Evolução das resistências das pré-lajes pré-moldadas

Pré-lajes	1 dias	3 dias	7 dias	28 dias
	1	3	7	28
AM-01	14,5	34,0	39,8	44,5
AM-02	13,2	32,3	37,0	46,0
AM-03	15,6	28,4	35,7	41,5

#### Dados Técnicos:

T.U.P.: 1; 1,64; 2,86  
a/c: 0,42  
c: 403 Kgm  
aditivo: Plastificante (1,8%)

Gráfico da Evolução da Resistência



AM-01 — AM-02 — AM-03 —

## CARACTERÍSTICAS DA PEÇA

- Armação  
Aço CA-50 = 58Kg/Peça
- Dimensões das Vigas  
Comprimento = 5,67m  
Largura = 0,50m
- Concreto  
Fck = 30MPa
- Cura do concreto  
Cura úmida

## MELHORIA DO DESEMPENHO DO CONCRETO

### Densificação da Microestrutura do Concreto com uso de aditivos químicos.

Para se obter um menor período entre a concretagem e a desforma das peças, usou-se de início a cura à vapor. Este procedimento permitiu que com um ciclo de 18 h de cura se pudesse manipular as peças. Entretanto, esta maneira de curar, implicou em perdas de resistência aos 28 dias de idade, por se criar na microestrutura da pasta pontos de nucleação, aliado ainda à auto dessecação. Esta metodologia foi substituída pela adição de um aditivo Hiperplastificante, de base Policarboxílico, que permitiu com seu efeito

Histórico (melhoria da dispersão das partículas de cimento), a obtenção de concretos fluidos com relação a/c abaixo de 0,40, que permitiu a produção de concretos de elevado desempenho e de alta resistência inicial com 18 horas.

É relevante enfatizar que esta mudança implicou em uma satisfatória relação custo/benefício.

O uso deste aditivo permitiu o uso de traços com menor teor de cimento possível, posto que as fundações se encontram em meio altamente agressivo ao concreto pela presença de sulfatos nas águas do Rio Guamá, que dependendo da concentração, pode promover uma interação com o C<sub>3</sub>A, causando a precipitação da Etringita que é um sulfoaluminato de caráter expansivo que leva à deterioração da estrutura.

## MATERIAIS

Um outro desafio foi a utilização dos materiais aplicados à estrutura da ponte, uma vez que em alguns casos existem carências que foram equacionadas com a seleção dos materiais.

Mais modernamente pode-se escolher o cimento que mais se adequa às necessidades de determinada obra no que diz respeito ao atendimento das propriedades mecânicas e de durabilidade. Mercê das adições minerais usadas na fabricação do cimento, pode-se modificar o comportamento reológico deste aglomerante. Assim, cimentos com adição pozolanas, cinzas volantes, escória de alto forno, micro-sílica, metacaulinitas, micro-fibras e etc, conseguem melhorar o desempenho da estrutura, atendendo tanto às propriedades mecânicas como ao requisito de durabilidade. Segundo LIBÓRIO (2004), existe então uma formulação ideal do aglomerante para cada característica exigida, como sendo:

- Alta resistência;
- Durabilidade aos agentes agressivos;
- Melhoria da zona de transição.

Nesta estrutura usou-se o cimento NASSAU CP II Z - 32 fabricado pela CIBRASA, em Capanema -Pa.

Quanto aos agregados que necessitam possuir algumas propriedades como, dureza, textura, ausência de materiais deletérios e de material pulverulento, para que os requisitos de desempenho do concreto sejam alcançados, tiveram que passar por uma cuidadosa seleção, posto que os agregados da região de Belém não preenchem as exigências normativas. Aí foi o grande desafio, pois era inviável o uso de granito britado, pela carência desta rocha na região, tendo-se como alternativa selecionar uma jazida de seixo mais abundante e que contivesse as propriedades mínimas necessárias para produzir o concreto desta ponte. O seixo usado foi de São Miguel do Guamá com uma dureza maior do que os comumente usados nos concretos de Belém, porém ainda com uma textura lisa que minorava a aderência pasta agregado.

O pior ainda era a necessidade da definição do Módulo de Deformação do concreto, pois toda a estrutura das estacas, vigas e aduelas foram concebidas pela empresa projetista (ELG), bem como o Escritório Demiranda de Milão, que projetou o trecho estaiado em concreto protendido, e o módulo é uma propriedade fundamental para o concreto no estado

endurecido, para cálculo das deformações das peças, e este requisito depende fundamentalmente da dureza e da rugosidade superficial do grão (SILVA JUNIOR, 2000).

A despeito de se obter resultados de resistência à compressão, o Módulo de Deformação mínimo obtido nos ensaios executados no laboratório da obra foi 25 Gpa, valor este usado pelos projetistas para definição das deformações do concreto.

Um material que muito colaborou na melhoria do desempenho do concreto da estrutura foi o uso de aditivos super-plastificantes e hiper-plastificantes de última geração base poli carboxílico, cujo efeito eletrostático e estérico respectivamente, conseguiram tornar concretos fluidos com relação a/c reduzidas. O uso destes aditivos permitiu também tempo de desforma precoce para atender ao cronograma da obra, e o que é mais importante é que conseguiu-se elevar as resistências finais do concreto em comparação com as mesmas misturas sem aditivo. Além disto, estes materiais conseguem melhorar a trabalhabilidade, reduzem o consumo de cimento, minoram a segregação, e nos concretos considerados massa, diminuem as tensões de origem térmicas. Isto comprova a eficácia destes materiais e a viabilidade de seu uso pela relação custo/benefício. As figuras 7 e 8 mostram o mecanismo de ação dos aditivos, o efeito eletrostático e o efeito estérico e a melhoria da micro-estrutura da pasta de cimento (REPETTI, 2001). As figuras 7 e 8 representam os mecanismos de atuação dos aditivos plastificantes, super e hiper-plastificantes para concreto.

### Plastificantes Lignosulfonatos

#### Fabricação

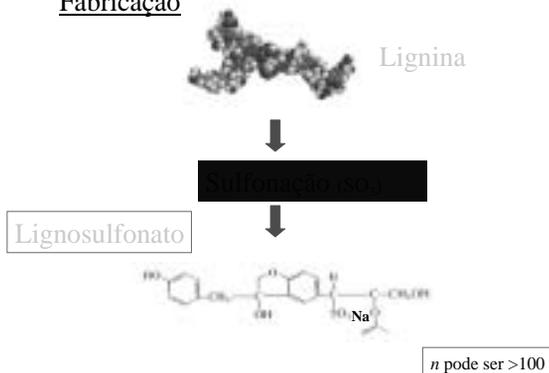
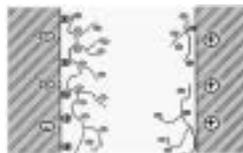


Figura7 – Polimerização de matéria prima dos plastificantes base lignosulfonatos (REPETTI, 2000).

### Super Plastificantes

#### Modos predominantes



Repulsão eletrostática

- Lignosulfonato
- Naftaleno
- Melamina



Repulsão estérica

- Policarboxilatos

Figura 8 – Mecanismos de repulsão eletrostática e efeito estérico (REPETTI, 2000).

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ◆ A pré-fabricação de peças estruturais é um mecanismo que conduz à execução de estruturas de melhor qualidade pela padronização dos processos;
- ◆ A pré-fabricação é uma ferramenta no implemento da agilidade no processo construtivo de um empreendimento estrutural de grande porte;
- ◆ O uso de aditivos super e hiper-plastificantes foi de fundamental importância na obtenção de peças econômicas, duráveis e, ainda, para atendimento do cronograma físico da obra;
- ◆ A melhoria da micro-estrutura do concreto foi fator preponderante na obtenção das propriedades mecânicas e na garantia da durabilidade da estrutura;
- ◆ O uso dos materiais da região como sendo o cimento, areia e seixo, desde que bem selecionados, permite fabricar concretos de alta resistência e de elevado desempenho, tirando-se partido da eficiência dos aditivos super e hiper-plastificantes de última geração;
- ◆ Conseguiu-se observar que o uso dos hiper-plastificantes propiciou o acréscimo de resistências do concreto ao longo de um período maior de hidratação do cimento, em relação à misturas de mesma relação a/c sem aditivo;
- ◆ A execução deste projeto veio contribuir para o desenvolvimento da engenharia nacional no que diz respeito à pontes estaiadas.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FAIRBANKS, B. S. – TORRES DE CONTROLE DE AEROPORTO PROJETADAS EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO. – Revista IBRACON, junho 2004.
- LIBÓRIO, J. – Concreto de alto desempenho – Uma tecnologia simples para produção de ESTRUTURAS DURÁVEIS. Revista IBRACON, junho 2004.
- REPETTI, W.- Tecnologia de aditivos . Palestra IBRACON Regional do Pará, outubro 2001.
- SILVA JUNIOR, J.Z.R. – ARGAMASSAS DE REPARO. Dissertação para título de Mestre em Engenharia – Escola Politécnica da USP 2000.



Desde 1964 o Grupo EMBU S.A. vem atuando no mercado brasileiro fornecendo materiais agregados e serviços de concretagem, guiado pela superação de desafios, liderança no mercado, qualidade de seus produtos, respeito com os clientes, com a comunidade e com o meio ambiente.

Ao longo destes quase 40 anos a EMBU busca, com capital 100% nacional, o pioneirismo no investimento e aplicação de modernas técnicas de extração de rocha e beneficiamento do material agregado. Também busca a qualidade e eficiência no desenvolvimento de novas tecnologias no concreto para obedecer rigorosamente as normas técnicas oficiais e necessidades do mercado da construção civil.

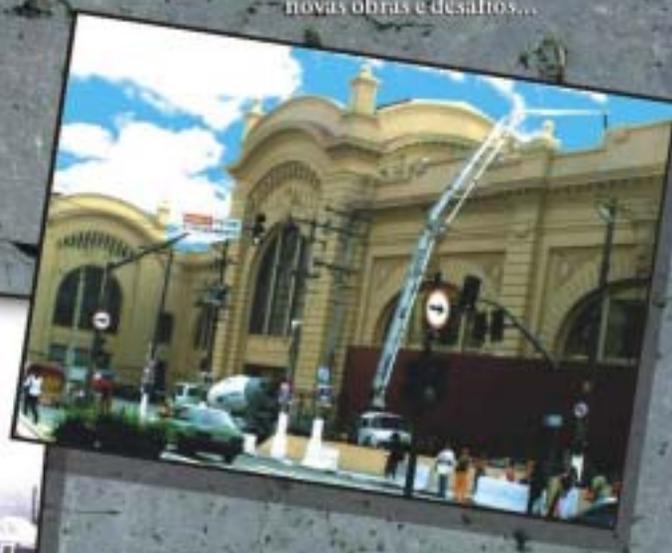
É com esta filosofia de trabalho que nos orgulhamos de estar entre as melhores empresas do setor mineral brasileiro e líder entre as empresas produtoras de pedra britada do Brasil.

O Grupo é composto por quatro pedreiras, localizadas em Embu das Artes, Mogi das Cruzes, Perus no Estado de São Paulo e Vila Velha-ES.

Quanto ao serviço de concretagem, possuímos 10 dosadoras de concreto distribuídas dentro da Grande São Paulo, Vale do Paraíba e Baixada Santista, que aliadas à localização estratégica das pedreiras, consegue assim estar sempre perto dos canteiros de obras, otimizando as entregas dos produtos e respeitando prazos e preços que satisfaçam o cliente.

Conheça em nosso web site [www.embusa.com.br](http://www.embusa.com.br) um pouco mais da nossa empresa e esperamos que sua visita seja uma de muitas outras que virão pela frente em busca da qualidade dos produtos e serviços que oferecemos nos ramos de pedra britada, areia e concreto.

O Grupo EMBU S.A. espera que este seja mais um meio de aproximar a empresa de seus clientes de longa data, que há 40 anos confiam em nosso trabalho e de novos clientes e amigos, que esperamos formar em novas obras e desafios...



# FLUÊNCIA E RETRAÇÃO POR SECAGEM DE CONCRETO DE ELEVADA RESISTÊNCIA

Cassiana Augusto Kalintzis  
PCC-EPUSP  
cassianakalintzis@ig.com.br

Selmo Chapira Kuperman  
PCC - EPUSP / Themag  
Engenharia  
sechakup@usp.br

## Resumo

O projeto de estruturas de concreto de elevada resistência deve estar baseado no conhecimento das propriedades do concreto, sendo que os valores de fluência e de retração por secagem são parâmetros importantes em diversos casos. No entanto, as normas atuais no Brasil ainda não apresentam metodologia de cálculo adequada do coeficiente de fluência e da retração por secagem para o concreto de elevado desempenho.

Esse trabalho apresenta um estudo sobre a fluência e a retração por secagem do concreto de elevada resistência, analisando-se a influência da relação água/aglomerantes e do grau de hidratação. Foram ensaiados quatro concretos com diferentes relações água/aglomerantes, resistências características à compressão de 20 MPa a 75 MPa aos 28 dias, com 6% de sílica ativa e abatimento do tronco de cone igual a  $6,0 \pm 1,0$  cm.

Para o ensaio de fluência, os corpos de prova foram carregados aos 3, 7, 28 e 90 dias de idade e mantidos sob carga durante 90 dias.

Os ensaios nos concretos incluíram fluência, resistência à compressão, módulo de deformação, deformação autógena e retração por secagem.

São apresentados os resultados de retração por secagem, de deformação autógena e de fluência encontrados e suas correlações com a relação água/aglomerantes e o grau de hidratação.

**Palavras-chave:** fluência, deformação autógena, retração por secagem, concreto de elevada resistência.

## Abstract

The design of structures built with high strength concrete must be based on the knowledge of concrete properties. Although creep and shrinkage values are important factors Brazilian standards still do not present an adequate methodology for the use of creep and shrinkage coefficients on the design of high strength concrete structures. This paper presents creep coefficients, autogenous volume changes, drying shrinkage and their correlation with age and water-cement ratio.

Creep of four mixtures with different water-cement ratios, compressive strengths ranging from 20 MPa to 75 MPa at 28 days, with 6% of silica fume and a fixed slump of  $6,0 \pm 1,0$  cm was determined.

Specimens were loaded at ages 3, 7, 28 and 90 days and maintained with a constant load for 90 days.

Concrete tests included creep, compressive strength, modulus of elasticity, autogenous deformation and drying shrinkage. Correlations between shrinkage, autogenous deformation and creep with the water-cement ratios and the degree of hydration are shown.

**Key-words:** creep, autogenous deformation, shrinkage, high strength concrete

## Introdução

Fluência é definida como o aumento das deformações ao longo do tempo sob carga mantida constante. No concreto, é influenciada por uma série de fatores como umidade relativa do ar, temperatura, dimensões da peça estrutural, intensidade do carregamento, teor de pasta, relação água/cimento, tipo de cimento, teor e tipo de agregado e idade de carregamento (NEVILLE, 1970; MEHTA E MONTEIRO, 1994).

Em ambientes em que é mantida a saturação

de umidade do ambiente e a temperatura constante, a deformação que se desenvolve ao longo do tempo em uma peça de concreto submetida à tensão constante é chamada fluência básica.

Para concreto exposto a um ambiente com umidade relativa menor do que 100% , é possível distinguir além da deformação elástica instantânea, da fluência básica e da deformação por secagem, uma deformação adicional, chamada de fluência por secagem (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

A importância da fluência está nas deflexões ou deformações de elementos estruturais e na perda de tensão em peças protendidas, sendo necessária a consideração de seus efeitos no dimensionamento de estruturas de concreto.

No presente trabalho, é apresentada a fluência básica de quatro concretos, com diferentes relações água/aglomerantes. São analisadas as influências da relação água/aglomerante e do grau de hidratação sobre as deformações. Complementando o estudo, também são analisadas a retração por secagem e a deformação autôgena.

## Estudo Experimental

### Materiais

- ◆ **Cimento:** foi utilizado o cimento Portland composto CP-II-F-32.
- ◆ **Sílica ativa:** foi utilizada sílica ativa Silmix.

As características físicas do cimento e da sílica ativa utilizados são apresentadas na tabela 1.

- ◆ **Agregado miúdo:** utilizou-se areia artificial tipo gnaisse, proveniente da pedreira Reago na região de Guarulhos – SP
- ◆ **Agregado graúdo:** empregou-se pedra britada tipo gnaisse, proveniente da pedreira Reago, na região de Guarulhos/SP, com  $D_{máx} = 19\text{mm}$ .

As características dos agregados são apresentadas na tabela 2.

- ◆ **Aditivo:** foi utilizado aditivo superplastificante, Reax 3000-A, base melamina sulfonada.

### Características e ensaios dos concretos

Os concretos foram dosados de acordo com o Método do Módulo de Finura, que é empregado pelo Laboratório de Concreto de Furnas, em Goiânia, onde foram realizadas todas as dosagens e os ensaios desse programa experimental.

Foram produzidos concretos com quatro relações água/aglomerantes: 0,29, 0,37, 0,52 e 0,76, com substituição de 6% do cimento por sílica ativa e abatimento do tronco de cone de  $6,0 \pm 1,0$  cm. A tabela 3 mostra o consumo de materiais, por  $\text{m}^3$  de concreto, para cada traço.

Tabela 1 – Características físicas do cimento e da sílica ativa

	Cimento	Sílica Ativa
Massa específica ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ )	3,12	2,20
Área específica ( $\text{m}^2/\text{kg}$ )	354	4560
Perda ao fogo (%)	5,04	3,75
Resíduo na peneira 200 (%)	2,80	67,80
Resíduo na peneira 325 (%)	12,40	-

Tabela 2 – Características físicas dos agregados

	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo
$D_{máx}$ (mm)	4,8	19
Módulo de Finura (mm)	3,00	6,77
Massa específica ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ )	2,66	2,66

Tabela 3 – Dados de composição e propriedades do concreto fresco

Dosagem		C029	C037	C052	C076
Traço em peso		1:2,32	1:2,3	1:4,96	1:7,38
Dados de Composição	Cimento	615	481	335	236
	Sílica Ativa	38	30	21	14
	Cimento Equivalente	653	511	356	250
	Água	187	188	186	190
	Areia Artificial	514	670	849	948
	Brita 19mm	1009	1004	958	948
	Superplastificante	10	7,8	5,5	3,9
Relação a/agl		0,29	0,37	0,52	0,76
Areia em Peso (%)		35	40	47	50
Teor de Argamassa Seca (em %)		54,5	54,3	55,9	55,9
Propriedades do Concreto Fresco	Abatimento (cm)	6,0	6,0	6,5	6,0
	Ar Incorporado (%)	1,9	2,0	1,6	1,7
	Massa Específica ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	2373	2354	2354	2342
	Volume de Pasta, $c_1$ , em %	42,0	37,6	31,9	28,9
	Volume de Agregado, $c_2$ , em %	58	62,4	68,1	71,1

Tabela 4 – Resultados de resistência à compressão e módulo de deformação						
Dosagem			C029	C037	C052	C076
Resistência à Compressão	3 dias	(MPa)	51,8	36,4	23,6	11,1
	7 dias		60,0	50,8	35,8	15,4
	28 dias		74,7	65,2	46,5	22,5
	90 dias		85,3	66,0	51,1	26,5
Módulo de Deformação	3 dias	(GPa)	29,4	26,4	23,9	19,1
	7 dias		34,3	28,0	25,0	23,7
	28 dias		36,1	31,2	32,7	33,3
	90 dias		36,2	34,4	33,6	34,2

A fim de se avaliar a influência do grau de hidratação sobre a fluência, os concretos foram ensaiados aos 3, 7, 28 e 90 dias de idade.

Os ensaios de resistência à compressão e de módulo de deformação foram feitos de acordo com a NBR 5739 e NBR 8522, respectivamente. Os resultados desses ensaios encontram-se na tabela 4.

A determinação da retração por secagem foi feita de acordo como projeto de norma CB.18 : 04.10-001- Retração por secagem do concreto – Método de Ensaio. Foram moldados dois corpos de prova prismáticos 150x150x600 mm para cada traço. Após a moldagem, os corpos de prova foram estocados em câmara úmida, à temperatura de  $23,0 \pm 2,0$  °C e umidade relativa acima de 95%. Decorridos  $24,5 \pm 0,5$  h, os corpos de prova foram removidos dos moldes e colocados em recipientes com água saturada de cal, à temperatura de  $23,0 \pm 2,0$  °C, por 30 minutos, antes de se proceder à leitura do comprimento inicial. Após a leitura do comprimento inicial, os corpos de prova foram novamente estocados em recipientes com água, até a idade de 28 dias. Ao fim do período de cura, foi tomada a segunda medida de comprimento. A seguir, os corpos de prova foram transferidos e estocados em sala climatizada ( $23,0 \pm 2,0$  °C) e com umidade relativa igual a  $50 \pm 4\%$ . As medidas das deformações foram feitas através de extensômetros elétricos do tipo Carlson, embutidos nos corpos de prova. Foram feitas leituras diárias até a estabilização das deformações.

Os ensaios de fluência e de deformação autógena foram realizados de acordo com a norma NBR 8224/83 – Determinação da Fluência (ABNT, 1983).

Para cada concreto foram moldados dois corpos de prova de 10 x 20 cm, que receberam cura úmida. Vinte e quatro horas após a moldagem, os corpos de prova foram desmoldados e selados para evitar a perda de umidade. Para a selagem, os mesmos foram envolvidos com uma borracha, colada com resina epóxi. No período de endurecimento da resina epóxi, a borracha foi totalmente envolta por uma fita adesiva, para garantir melhor aderência da mesma. A temperatura da sala foi mantida em  $23,0 \pm 2,0$  °C. A tensão aplicada correspondeu a 40% da resistência à compressão do concreto naquela idade. O tempo de carregamento foi de 90 dias e para a determinação da deformação autógena, os corpos de prova foram mantidos selados e descarregados durante todo o período de ensaio.

Para a medida das deformações foram utilizados extensômetros elétricos tipo Carlson, modelo M4, embutidos nos corpos de prova.

Para aplicação e manutenção da carga foi utilizada uma aparelhagem baseada no sistema de Pirtz, um sistema com aplicação e correção manual da carga desenvolvido pela Emic e uma máquina para ensaios de fluência com utilização de nitrogênio ( EQUIPE DE FURNAS, 1992 ).

## Discussão dos Resultados

Para análise dos dados obtidos, serão empregadas duas terminologias:

- ◆ **Deformação unitária:**  $\Delta L/L$  – variação do comprimento ( $\Delta L$ ) em relação ao comprimento inicial (L).
- ◆ **Fluência específica:** deformação por fluência por unidade de tensão aplicada.

O Gráfico 1 apresenta os resultados de retração por secagem, mostrando a deformação específica ( $\times 10^{-6}$ ) em relação ao tempo (dias).

Os concretos com relação  $a/agl = 0,29, 0,37$  e  $0,52$  apresentaram valores de retração por secagem muito próximos nas primeiras idades. Para as maiores idades, o concreto C029 apresentou menor retração do que os outros concretos, ainda que muito próxima dos valores encontrados para o concreto C076, não sendo possível estabelecer uma relação entre a retração por secagem e a relação  $a/agl$ . De acordo com a FIP/CEB (1990) a retração por secagem está mais relacionada à porcentagem de água por volume de concreto. No presente estudo, a quantidade de água nos quatro traços é muito

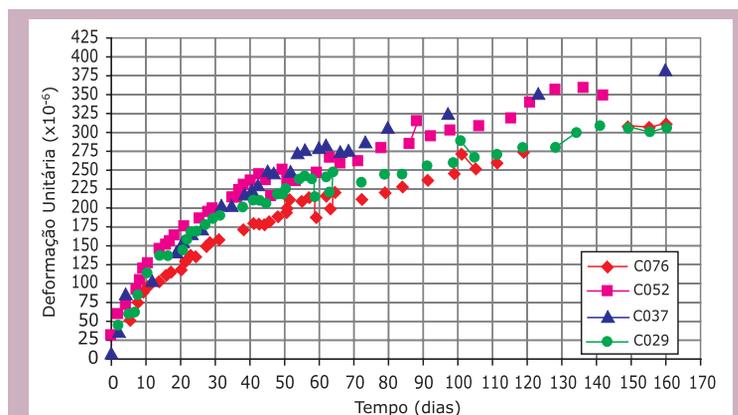


Gráfico 1 - Retração por secagem de corpos de prova com 28 dias de idade, colocados em ambiente com umidade relativa = 50%

próxima, uma vez que todos têm a mesma consistência, o que torna difícil uma análise por esse parâmetro. Contudo, pode-se observar que, com 180 dias de idade inicia-se uma tendência assintótica com o eixo das abscissas e que a retração situa-se numa faixa entre  $300 \times 10^{-6}$  e  $375 \times 10^{-6}$  (0,03 % e 0,0375 %). Essa pequena variação pode ser devida a mesma quantidade de água presente nos quatro traços.

Os Gráficos 2, 3, 4, e 5 permitem uma comparação entre os resultados de fluência obtidos para os concretos com as diferentes relações a/agl, nas 4 idades de carregamento.

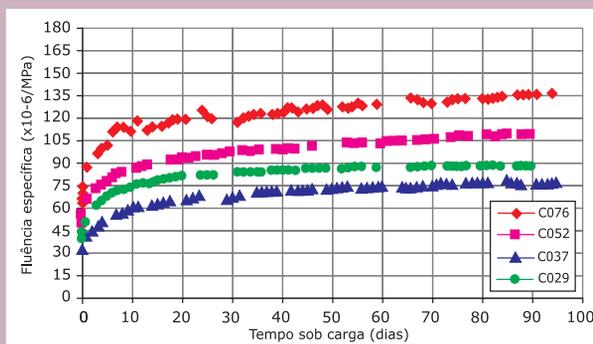


Gráfico 2 - Influência da relação água-aglomerante sobre a fluência, em concretos submetidos a carregamentos aos 3 dias de idade

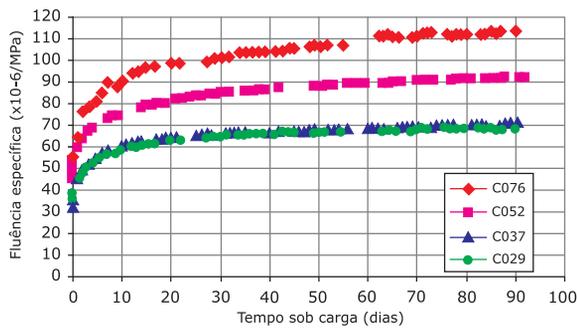


Gráfico 3 - Influência da relação água-aglomerante sobre a fluência, em concretos submetidos a carregamentos aos 7 dias de idade

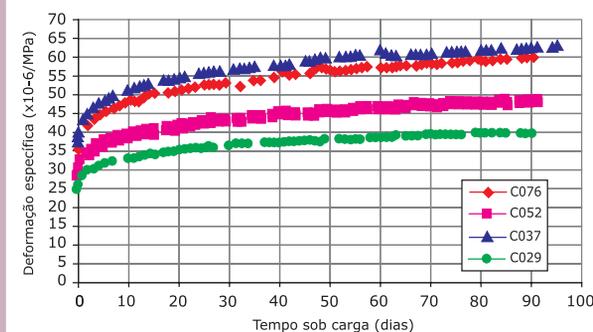


Gráfico 4 - Influência da relação água-aglomerante sobre a fluência, em concretos submetidos a carregamentos aos 28 dias de idade

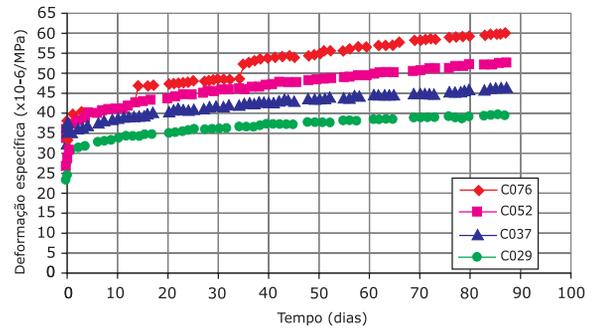


Gráfico 5 - Influência da relação água-aglomerante sobre a fluência, em concretos submetidos a carregamentos aos 90 dias de idade

As deformações de cada concreto em todas as quatro idades de carregamento estudadas são apresentadas nos Gráficos 6, 7, 8 e 9.

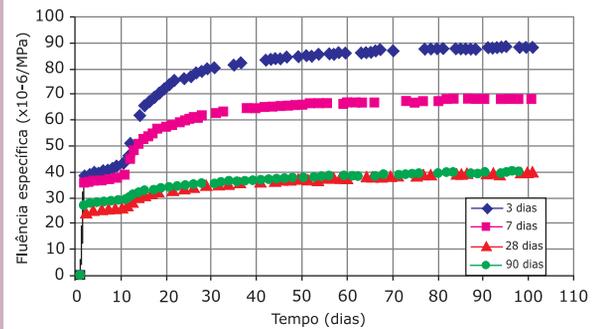


Gráfico 6 - Influência da idade de carregamento sobre a fluência, para o concreto C029

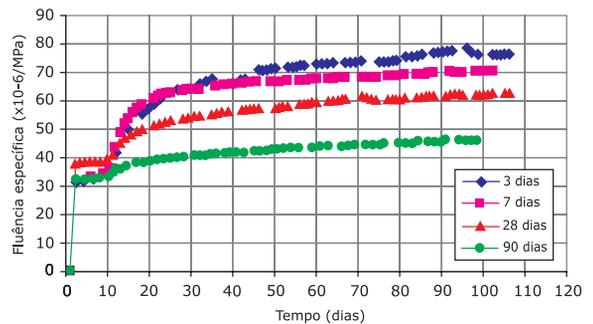


Gráfico 7 - Influência da idade de carregamento sobre a fluência, para o concreto C036

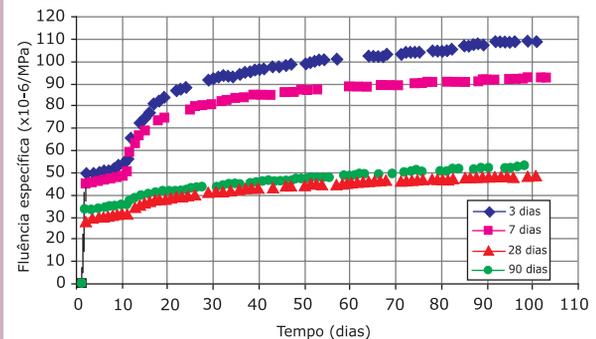


Gráfico 8 - Influência da idade de carregamento sobre a fluência, para o concreto C052

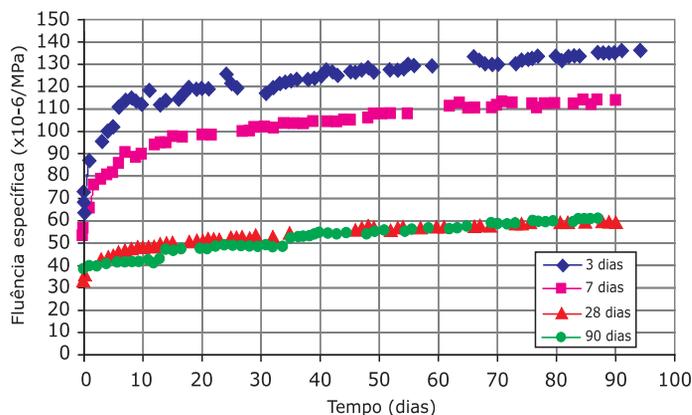


Gráfico 9 - Influência da idade de carregamento sobre a fluência, para o concreto C076

Os Gráficos apresentados mostram maior fluência específica para os concretos com maior relação a/agl, principalmente para os concretos C076 e C052. Contudo, esperava-se que o concreto com a/agl = 0,29 apresentasse fluência específica menor do que a do concreto com a/agl=0,37, o que não foi verificado para a idade de 3 dias (Gráfico 2). De acordo com FIP/CEB (1990), o coeficiente de fluência ou a fluência específica é significativamente menor para os concretos de alta resistência, em relação aos concretos de baixa resistência. Para a idade de 90 dias, observa-se claramente a influência da relação a/agl nas deformações por fluência.

Os resultados mostraram uma redução na deformação por fluência a medida que aumenta a idade de carregamento, sendo que aos 90 dias, os concretos carregados aos 7 dias, em relação aos concretos carregados aos 3

dias, apresentaram um redução na deformação de 20,8%, 11,5%, 16,9% e 25,5%, para os concretos C076, C052, C037 e C029, respectivamente.

Os resultados de deformação autógena, apresentados no Gráfico 10, estão de acordo com o esperado. As deformações aumentaram conforme diminuiu a relação a/agl. Este comportamento está relacionado ao maior conteúdo de cimento/m<sup>3</sup>, nos concretos de menor relação a/agl. Os resultados obtidos estão de acordo com a FIP/CEB (1990) segundo a qual, devido à baixa relação a/agl e microestrutura refinada, o concreto de elevado desempenho exibe uma deformação autógena quase tão grande quanto a retração por secagem. Enquanto os concretos C076, C052 e C037 apresentaram deformação autógena menor do que a retração por secagem, o concreto C029 apresentou deformação autógena 21,2% maior do que a retração por secagem, aos 90 dias, sendo que sua deformação unitária foi da ordem de 320x10<sup>-6</sup>.

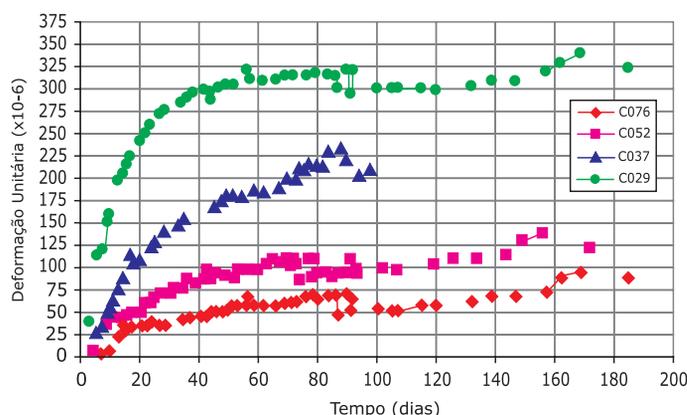


Gráfico 10 - Deformação Autógena

## Conclusões

Os resultados obtidos nessa investigação experimental permitem fazer as seguintes considerações finais:

- ◆ Não foi possível estabelecer nenhuma relação clara entre a retração por secagem e a relação a/agl. A retração, aos 180 dias, variou de 0,03% a 0,0375%.

- ◆ Os resultados mostraram a influência da relação a/agl na fluência do concreto sendo que, de um modo geral e de acordo com o esperado, os concretos com menor relação a/agl apresentaram menor deformação por fluência.

- ◆ O concreto com relação água/aglomerante = 0,29 apresentou como valores de fluência específica, aos 90 dias, 88x10<sup>-6</sup>, 67x10<sup>-6</sup>, 39x10<sup>-6</sup> e 40x10<sup>-6</sup>, aos 3, 7, 28 e 90 dias de idade no momento do carregamento, respectivamente.

- ◆ A influência do grau de hidratação aumento das deformações ao longo do tempo também ficou evidenciada nesta investigação experimental. Concretos com maior idade no momento do carregamento apresentam menor deformação e isto pode ser explicado por uma estrutura interna mais compacta, com menos água disponível e poros mais refinados. A fluência específica dos concretos carregados aos 3 dias foi 2,1 a 2,4 vezes maior do que a dos concretos carregados aos 28 dias, para qualquer relação água/aglomerante.

- ◆ Os ensaios de deformação autógena confirmaram que o concreto de elevada resistência apresenta valores elevados para esse tipo de deformação, devido ao maior consumo de cimento/m<sup>3</sup> e menor relação a/agl. Com 180 dias de idade o concreto de relação água-aglomerante 0,29 mostrou deformação de 325x10<sup>-6</sup> (0,0325%).

### Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP pelo apoio financeiro através do Auxílio Pesquisa, ao Departamento de Apoio e Controle Técnico de Furnas Centrais Elétricas, em especial ao Eng<sup>o</sup> Walton Pacelli de Andrade e ao Téc. Élcio Antonio Guerra, pela atenção e trabalho para a realização dos ensaios, ao Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP e, à Camargo Corrêa Cimentos, Reago e Reax, pela doação dos materiais.

### Bibliografia

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto endurecido – determinação da fluência: NBR 8224**. Rio de Janeiro, 1983.
- EQUIPE DE FURNAS, LABORATÓRIO DE CONCRETO, DEPARTAMENTO DE APOIO E CONTROLE TÉCNICO. **Concretos: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo: ensaios e propriedades**. In: ANDRADE, W. P. (ed.) São Paulo, PINI, 1992.
- FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE LA PRÉCONTRAÎNTE/COMITÉ EURO-INTERNATIONALE DU BETON. **High strength concrete – state of the art report**. London: Chameleon Press, 1990. (SR 90/1 – Bulletin d'Information, 197).
- FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE LA PRÉCONTRAÎNTE/COMITÉ EURO-INTERNATIONALE DU BETON. **Evaluation of the time dependent behavior of concrete**. London: Chameleon Press, 1990. (Bulletin d'Information, 199).
- ISAIA, G. C. **Efeitos de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho: em estudo de durabilidade com vistas à corrosão da armadura**. São Paulo, 1995. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo.
- MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto – estrutura, propriedades e materiais**. PINI, São Paulo, 1994.
- MORAES, M. F. **Algumas propriedades mecânicas do concreto com microssilica**. São Paulo, 1990. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo.
- NEVILLE, A. M. **Creep of concrete: plain, reinforced and prestressed**. North Holland Publishing Co.. Amsterdam, 1970.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo, PINI, 1997.



IBRACON

## Programa MasterPEC

Cursos de Educação Continuada do IBRACON

Acesse [www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br) → Eventos → Cursos



- Professores experientes
- Temas de atualidade
- Menores investimentos

MasterPEC - Master em Produção de Estruturas de Concreto

Certificado pelo IBRACON  
para profissionais que acumulem 120 créditos-hora  
em no máximo 4 anos nos cursos do Programa MasterPEC

### CURSOS OFERECIDOS

#### Patologia das Estruturas de Concreto. Conceituação, Inspeção e Diagnóstico

Professores: Eng. Paula Barbosa / Eng. Renato Landmann

#### Sustentabilidade e Responsabilidade Social. A contribuição do concreto

Professor: Geol. Everaldo Marciano Jr.

#### O concreto na Arquitetura

Professores: Arq. Ruy Ohtake / Eng. Paulo Helene

### CURSOS A OFERECER

Reabilitação e Manutenção de Estruturas de Concreto

Dimensionamento de pilares, vigas e lajes pela nova NBR 6118

Projeto e execução de Fôrmas e Escoramentos

Modernas técnicas de dimensionamento de estruturas com lajes treliçadas

## ARGAMASSAS DE REPARO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO COM CORROSÃO DE ARMADURAS:

### SUGESTÕES DE REQUISITOS E CRITÉRIOS BÁSICOS PARA QUALIFICAÇÃO<sup>1</sup>

Renata Spinelli Bertolo<sup>2</sup>  
Sílvia Maria de Souza Selmo<sup>3</sup>

#### Resumo

A crescente urbanização e o envelhecimento das cidades brasileiras contribuem para a deterioração das suas edificações e obras de arte. Esse é um fato reconhecido pela maioria dos especialistas atuantes em recuperação, manutenção e restauração de edifícios.

A corrosão das armaduras em estruturas de concreto é um problema freqüente dentro desse panorama e demanda intervenção técnica adequada e o mais breve possível, após a sua detecção, para se manter a funcionalidade da estrutura a custos aceitáveis, na recuperação e manutenção subsequentes.

No caso da corrosão de armaduras ser causada pela ação de carbonatação e umidade, utilizam-se reparos localizados nas estruturas, feitos com argamassa industrializada ou produzida em obra, pois as espessuras afetadas não ultrapassam, em geral, o cobrimento das armaduras. Uma das questões envolvidas na execução desses serviços é a escolha do sistema de reparo, que envolve entre outros itens uma adequada especificação da argamassa de reparo.

O meio acadêmico e os institutos de pesquisa têm realizado diversos estudos envolvendo a caracterização e o desempenho de argamassas de reparo.

No entanto, no Brasil, nem fabricantes, nem especialistas conseguiram ainda reunir a sua experiência neste campo e elaborar uma normalização básica referente à especificação de argamassas de reparo e aos procedimentos recomendáveis para a execução de reparos localizados de estruturas de concreto.

Assim, o presente trabalho tem por objetivo fazer algumas propostas de requisitos e critérios básicos para uma futura normalização brasileira de argamassas de reparo de estruturas de concreto, com corrosão de armaduras, e sugere-se que esse processo seja iniciado por uma padronização de propriedades informadas nos catálogos de fabricantes.

**Palavras-chave:** argamassa de reparo, normalização, corrosão de armaduras, reparo de estruturas de concreto.

#### Abstract

The growing urbanization and aging of Brazilian cities has contributed to the deterioration of its buildings and bridges. This fact is acknowledged by most experts on the subject operating in recovery, maintenance and restoration of buildings.

Concrete reinforcement corrosion is a recurring problem that demands expert action as soon as possible, so as to keep the structure functional at acceptable costs of repair projects and maintenance programs.

In the case of reinforcement corrosion by carbonation and humidity, the usual technique has been topical patch repairs in the structures using proprietary mortars or mortars made on the job site. One of the issues for the specification of such repair services is the choice of the repair system depending on the specification of an adequate repair mortar.

The academic community and research institutes have been carrying out several studies involving the determination of the basic properties of the repair mortars.

Yet, neither manufacturers nor the Brazilian technical community have managed to put together their expertise in this field and succeed in working some standard specification of the properties of repair mortars and the recommended procedures for carrying out patch repairs on concrete structures.

So this paper aims at proposing some requirements and basic criteria for a new Brazilian standard specification on repair mortars of reinforced concrete structures that could be start on data sheets of Brazilian products.

**Key-words:** repair mortar, patching material, standardization, reinforcement corrosion, repair of concrete structures

<sup>1</sup> Artigo original apresentado na 1ª Conferência sobre Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios, realizada em 25 e 26 de outubro de 2004, em São Paulo-SP, pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Anais em CD.

<sup>2</sup> Eng<sup>a</sup> Civil, Mestranda da Escola Politécnica da USP, Dep. de Eng<sup>a</sup> de Construção Civil; e-mail: [Renata.bertolo@poli.usp.br](mailto:Renata.bertolo@poli.usp.br); Tel: 55 (11) 3091-5459

<sup>3</sup> Eng<sup>a</sup> Civil, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> da Escola Politécnica da USP, Dep. de Eng<sup>a</sup> de Construção Civil; e-mail: [Silvia.selmo@poli.usp.br](mailto:Silvia.selmo@poli.usp.br); Tel: 55 (11) 3091-5789  
Av. Professor Almeida Prado, Travessa 2, nº 83 CEP 05508-900 - São Paulo - SP

## INTRODUÇÃO

A recuperação de estruturas de concreto aumenta com a idade das obras brasileiras, em decorrência da sua degradação normal ou prematura. Só para as pontes brasileiras, estima-se que o custo atual em manutenção possa chegar a valores da ordem de 10 bilhões, em planos de recuperação para cinco anos, segundo Landmann<sup>1</sup>.

Especificamente, quanto à corrosão de armaduras em estruturas de concreto, Medeiros<sup>2</sup> estimou que representa aproximadamente 27% das anomalias em edificações brasileiras, com base em diversos levantamentos das décadas de 80 e 90.

Como os custos relativos à intervenção e a reparos em estruturas de edifícios são em geral bem elevados, a Engenharia Civil e a cadeia produtiva envolvida devem trabalhar pela execução de manutenções bem sucedidas, para aumentar a vida útil residual das estruturas, e com isto fortalecer a imagem da indústria e da engenharia consultiva operantes nesse ramo. Preocupação semelhante tem o Instituto Brasileiro do Concreto através do Manifesto Público: Lições do Areia Branca Acidentes Responsabilidades e Segurança das Obras, em recente divulgação no seu site.

Todavia, não há normas brasileiras no campo da recuperação estrutural e isto afeta tanto a indústria, que tem dificuldades em padronizar propriedades e níveis de desempenho a serem atingidos pelos seus produtos, quanto a profissionais, que podem fazer escolhas e especificações impróprias, devido à variedade de técnicas e produtos existentes.

Contribuições acadêmicas não faltam, para se evoluir no campo da normalização da manutenção e recuperação estrutural, mas falta sensibilizar fabricantes, neutros e consumidores. Como é longo e muito abrangente esse campo de normalização, que seja então iniciado pelos materiais de reparo mais comuns, pois esse mercado experimentou franca expansão há mais de 10 anos atrás, como bem apontado por Mailvaganam<sup>3</sup>.

Trabalhos em diversas instituições nacionais e estrangeiras vêm se dedicando ao estudo de materiais e técnicas de recuperação de estruturas, e aqui seria impossível reunir as publicações já existentes, seja no Brasil ou em nível mundial.

Assim, neste artigo serão especialmente discutidos resultados de Medeiros<sup>4,5</sup>, pois a pesquisa envolveu uma extensa caracterização física e mecânica de 13 argamassas de reparo e hoje prossegue por estudos complementares, no que diz respeito à qualidade da interface eletroquímica propiciada por esses materiais ao aço carbono, através de outros projetos<sup>6, 7</sup>.

O foco deste trabalho são as estruturas com problemas de corrosão de armaduras por carbonatação e umidade e que são em geral recuperadas por processos que usam argamassas de reparo, sem que engenheiros e órgãos governamentais disponham de normas para especificar ou comparar tais produtos.

Os critérios para especificação são ainda mais críticos quando se tratam de estruturas deterioradas

por ataque de cloretos, situação em que também se costuma usar argamassa de reparo, ainda que seja apenas uma solução paliativa e pouco recomendável para o problema.

Assim, o objetivo deste artigo é fazer uma proposta de adoção de requisitos e critérios básicos para argamassas em catálogos de fabricantes, de modo a se evoluir progressivamente para uma futura normalização brasileira de argamassas de reparo localizado de estruturas de concreto.

## RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

Conforme bem resumido por Cabral<sup>8</sup>, a baixa qualidade do concreto nas edificações se caracteriza por elevada porosidade, segregações, ninhos de pedra, entre outros, e é apontada como uma das causas facilitadoras de processos de deterioração precoce das estruturas, e se origina em deficiências nas fases de dosagem, transporte, adensamento e cura do concreto.

Outras causas importantes dependem do projeto e do processo de execução das estruturas e são, por exemplo, as pequenas espessuras de cobrimento das armaduras, problemas de deformação excessiva e que tendem a aumentar o risco de corrosão de armaduras e o aparecimento precoce de danos estruturais.

Também o meio-ambiente, com variações de temperatura, umidade relativa, ventos, chuvas, concentração de poluentes no ar e outros agentes agressivos podem agravar os problemas de corrosão de armaduras em estruturas de concreto e devem ser considerados tanto no projeto estrutural, quanto em projetos de recuperação.

Assim, para a realização de uma obra de recuperação deve-se contar com especialistas em estruturas e materiais ou com a assistência técnica de fabricantes, para que seja feito um diagnóstico correto, pela devida identificação dos problemas existentes, e a especificação adequada dos materiais e técnicas a serem utilizados. Isto é tanto mais necessário, quanto mais avançado ou mais precoce for o estágio de deterioração da obra e quanto mais agressivo for o ambiente onde está inserida a estrutura.

Na Europa, está quase concluída a série de normas "EN 1504", para proteção e reparo de estruturas de concreto, e um resumo atualizado das normas está apresentado na Figura 1. Essa série de normas divide-se em 10 partes, agrupadas em: "aspectos gerais" nas Partes 9 e 10; "aspectos comuns ao uso" nas Partes 1 e 8 e "usos específicos" nas Partes de 2 a 7 e trata ainda da avaliação das tecnologias de recuperação e proteção listadas na terceira coluna da Figura 1, e que se desdobram em diversos métodos de ensaio para controle de qualidade.

Na Parte 1 da norma principal, encontram-se as definições dos termos relativos aos produtos e sistemas utilizados para reparo, manutenção, proteção, restauração e reforço das estruturas de concreto. A Parte 9 refere-se aos princípios gerais de uso, onde são abordadas as principais etapas dos serviços de recuperação. Já na Parte 10 estão estabelecidos os métodos para preparo do substrato e aplicação dos produtos e sistemas, e a sistemática de controle de qualidade da execução.

Os métodos de ensaio compreendem mais de 50 normas e caracterizam as propriedades específicas exigidas de produtos e sistemas de reparo em função do uso pretendido, e a maioria já está normalizada na Comunidade Européia. Uma tradução sintética dos títulos na época da discussão desses métodos, como projeto de norma, consta em artigo do Ibracon<sup>9</sup>. Os títulos atualizados e já como norma podem ser consultados em sites de organismos de normalização da CE, por exemplo através da palavra chave "repair of concrete structures" em [www.din.de](http://www.din.de), que é um site muito prático para consulta, por listar também as normas européias editadas em outros países integrantes do European Committee for Standardization.

Pela Figura 1 e informações no parágrafo anterior, pode-se concluir que as partes normalizadas constituem a grande maioria e correspondem às de número 1, 2, 4, 5, 8 e 10, com as respectivas siglas oficiais EN 1504-1, EN 1504-2, EN 1504-4, EN 1504-5, EN 1504-8 e EN 1504-10. A Parte 9 tem estatuto de norma provisória com sigla oficial ENV 1504-9, e as partes 3, 6 e 7 encontram-se em fase de projeto ("Draft Standard").

Medeiros e Selmo<sup>9</sup> discutiram um diagrama semelhante ao da Figura 1, em 2001, e não havia na época nenhuma norma aprovada, fato que evidencia a contínua evolução das normas européias nesse campo. E no Brasil, quando será dado início efetivo a esse processo?

Ainda que toda a recuperação estrutural seja peculiar, existem alguns procedimentos que devem ser padronizados para execução de qualquer serviço dessa

natureza, e os principais foram listados na ENV 1504 - 9, como sendo:

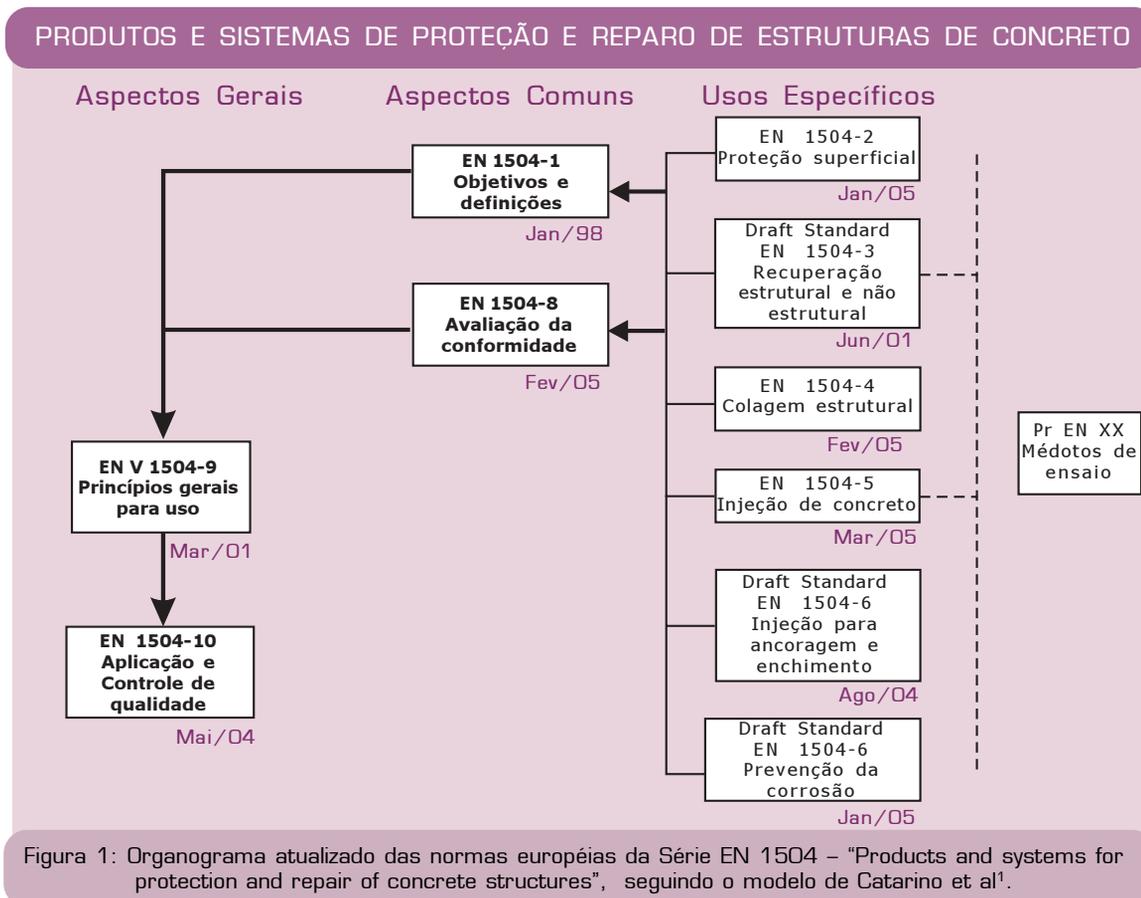
- ◆ Avaliação das condições da estrutura;
  - ◆ Identificação das causas da deterioração;
  - ◆ Decisão sobre os objetivos da proteção e da recuperação;
  - ◆ Seleção dos princípios adequados para proteção e recuperação;
  - ◆ Seleção dos métodos;
  - ◆ Definição das propriedades dos produtos e sistemas.

## REPAROS LOCALIZADOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

A tecnologia de reparo localizado e superficial de estruturas de concreto armado com corrosão de armaduras foi difundida no Brasil por Helene<sup>1</sup> para produtos de um determinado fabricante.

Por reparos localizados ficaram então conhecidos os sistemas de reparo superficial de estruturas de concreto afetadas ou não pela corrosão do aço. Os sistemas de reparo podem ser diversificados em função do preparo do substrato, tipo de argamassa, forma de aplicação e proteção final. Muitas vezes, há recomposições de maior volume de concreto e podem ser necessários grautes ou micro-concretos fluidos, ou haver a possibilidade de uso de concretos plásticos ou muito consistentes (jateados), conforme a geometria das peças e dos reparos.

Com base em Helene<sup>11</sup>, as fases do processo de reparo localizado e superficial de estruturas podem ser assim listadas:



- 1º - Delimitação das áreas deterioradas;
- 2º - Eliminação do concreto deteriorado ou contaminado. Devem-se retirar todas as partículas soltas para que não comprometam a aderência do material de reparo, assim como eliminar de 1 a 2 cm de concreto atrás das armaduras corroídas para que haja preenchimento dos vazios ao redor das barras pelo material de reparo;
- 3º - Eliminação dos produtos de corrosão feita por escarificação com ponteira elétrica ou manual em pequenas extensões de reparo, já para grandes extensões de áreas reparadas usa-se hidrojateamento ou jateamento abrasivo;
- 4º - Aplicação opcional de uma imprimação na armadura e uma ponte de aderência na superfície do concreto que vai receber reparo. Em caso de imprimação do aço, a pintura pode envolver diferentes princípios de proteção do metal por efeito barreira, proteção catódica ou a inibição de corrosão e esses tratamentos podem ter horizonte de normalização ainda mais distante, pois a sua eficiência é ainda estudada e muito discutível, pela possibilidade de causarem incompatibilidade eletroquímica nos trechos reparados, conforme explicado no item 4.1-b);
- 5º - Aplicação de argamassa ou graute de reparo a fim de recompor a geometria original da peça reparada.

A partir de Helene<sup>2</sup> foram publicadas muitas contribuições nacionais, discutindo os procedimentos e as técnicas para a recuperação de estruturas com corrosão das armaduras, e inúmeros trabalhos se seguiram.

Mas até hoje, nem fabricantes, nem a comunidade técnica brasileira, conseguiram reunir sua experiência neste campo e elaborar uma normalização básica, referente por exemplo à especificação de argamassas e procedimentos de reparos localizados de estruturas, que hoje já estão bastante difundidos,

podendo-se afirmar que há experiência nacional suficiente e acumulada para tanto. Uma contribuição neste sentido é o que se passa a discutir nos itens seguintes deste trabalho.

## REQUISITOS DE DESEMPENHO PARA SISTEMAS DE REPARO E ARGAMASSAS

Os reparos localizados exigem compatibilidade entre o substrato a ser reparado e a argamassa de reparo, sendo recomendável o conhecimento prévio do comportamento estrutural do elemento em recuperação, para que se possa definir o tipo de reparo mais adequado.

Especialistas como Cusson e Mailvaganam<sup>3</sup>são enfáticos na falta de informação sobre o desempenho de produtos de reparo e consideram isto uma das causas de insucesso na recuperação das estruturas de concreto nos Estados Unidos. Também Mangat e O'Flaherty<sup>4</sup> alertam sobre a importância de uma avaliação crítica das recomendações de reparo e da seleção de materiais, destacando as limitações e contradições existentes.

Segundo Emmons et al.<sup>5</sup>, é necessário compatibilizar as propriedades físicas, químicas e eletroquímicas dos materiais de reparo com as do substrato onde serão aplicados, ao que se pode chamar genericamente de compatibilidade. Esta pode ser considerada uma definição genérica, exigente, mas pouco precisa. Pela interpretação desse conceito, reparos localizados devem resistir às tensões induzidas por cargas, mudanças de volume, reações químicas ou eletroquímicas na interface com as armaduras e com o ambiente, por um certo período de tempo, como ilustrado na Figura 2 e discutido em 4.1.

Os requisitos ou propriedades básicas dos sistemas de reparo e das argamassas de reparo que devem promover tal desempenho constam na Tabela 1, chamando-se atenção que o cabeçalho da segunda

Requisitos	Das argamassas de reparo	Dos sistemas de reparo
Estado fresco - trabalhabilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ <i>Densidade de massa aparente</i></li> <li>◆ <i>Manutenção da consistência até 1 ou 2 h de preparo da mistura</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Compatibilidade de adesão inicial com o substrato: <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Análise visual da extensão de adesão inicial (espalhamento), logo após aplicação;</li> <li>◆ Facilidade de aplicação e acabamento superficial.</li> </ul> </li> </ul>
Estado endurecido – compatibilidade mecânica e de deformações	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ <i>Resistência à tração</i></li> <li>◆ <i>Resistência à compressão</i></li> <li>◆ <i>Módulo de elasticidade</i></li> <li>◆ <i>Retração linear potencial por secagem livre (não restringida)</i></li> <li>◆ <i>Variações dimensionais cíclicas</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Resistência e extensão de aderência ao concreto de base (Fig. 2): <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Aderência inicial à tração direta, por cisalhamento ou esforços mistos;</li> <li>◆ Aderência final após envelhecimento acelerado ou natural por ciclos de umidade, temperatura ou carga;</li> <li>◆ Controle de retração restringida.</li> </ul> </li> </ul>
Estado endurecido – compatibilidade eletroquímica	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ <i>Composição química da argamassa (aditivos e adições)</i></li> <li>◆ <i>Sucção capilar de água</i></li> <li>◆ <i>Resistência à carbonatação</i></li> <li>◆ <i>Resistência à penetração de íons agressivos (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)</i></li> <li>◆ <i>Resistividade elétrica</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Suscetibilidade à formação de macrocélulas em armaduras, entre a região reparada e o concreto original;</li> <li>◆ Controle da permeabilidade do reparo e da interface entre argamassa e concreto de substrato.</li> </ul>

Tabela 1: Diferenciação entre requisitos de argamassas para reparos localizados e dos sistemas de reparo, que podem ser avaliados em substratos padronizados ou "in situ". Para substratos de concreto padronizados, as argamassas também passam a ser melhor avaliadas quanto ao desempenho potencial.

e terceira coluna propõem uma diferenciação importante para se evoluir no campo de uma futura normalização.

Deve-se bem diferenciar as propriedades do material argamassa de reparo, daquelas que cabem ser medidas e exigidas dos sistemas de reparo, em que as propriedades e ações atuantes sobre o concreto e armaduras a serem reparadas precisam ser consideradas de forma padronizada e depois nas situações específicas de cada obra.

Assim, apenas uma normalização básica e elementar das argamassas de reparo é discutida neste artigo e está resumida pelas propriedades listadas na Tabela 1, sugerindo-se a princípio apenas considerar as suas características de trabalhabilidade e as algumas propriedades mecânicas intrínsecas, facilitando a comparação entre os diferentes produtos oferecidos pelo mercado atual, por métodos que possam ser difundidos e aplicados com facilidade por fabricantes e laboratórios.

O estudo de requisitos relacionados à compatibilidade mecânica e eletroquímica são bem mais complexos e exploratórios, principalmente no Brasil, mas podem evoluir rapidamente, por exemplo, se baseados nos métodos de ensaio agora já aprovados na Comunidade Européia.

Já o controle industrial de fabricação de argamassas industrializadas também pode envolver outras propriedades a partir do estado anidro e uma proposição mais completa está discutida em Medeiros e Selmo<sup>9</sup>.

Mas no contexto rotineiro de reparo das estruturas, a preocupação maior é quanto à interface argamassa de reparo por substrato (concreto antigo), pois sem a efetiva monolitidade dessa região, não é possível proteger armaduras e isto será discutido no item 4.1-a).

## Propriedades dos sistemas de reparo

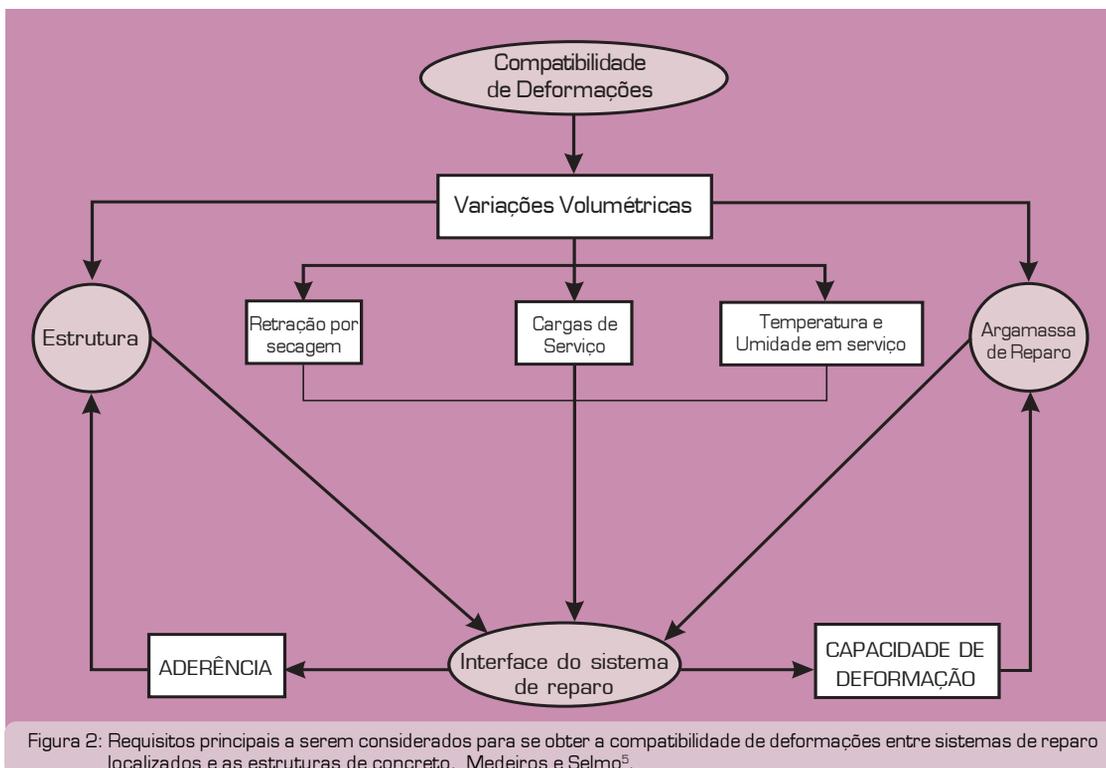
### a) Compatibilidade de deformações com o substrato

Nos reparos localizados existe a interface entre o substrato de concreto a ser reparado e a argamassa de reparo, de modo que a aderência deve ser controlada e garantida para absorver tensões de mudança de volume dos materiais envolvidos, nas variações de umidade, temperatura e cargas normais de serviço.

A variação de volume pelos mecanismos citados estão sintetizados na Figura 2 e pode gerar fissuras na interface com o concreto, de modo que se deve evitar a retração por secagem excessiva e garantir elevada extensão de aderência da argamassa de reparo, pois o mecanismo de secagem provoca tensões na interface que precisam ser resistidas, para que não se formem fissuras e nem ocorra a entrada de agentes agressivos nessa interface, o que pode desencadear um processo de corrosão nas barras imersas na região adjacente ao reparo.

Assim, a aderência entre a argamassa de reparo e o substrato deve permitir a transferência de tensões na interface, de modo que o sistema de reparo e a estrutura apresentem deformações homogêneas e compatíveis. Isto também pode demandar compatibilidade entre os módulos de elasticidade dos dois materiais, argamassa e concreto, para que trabalhem da forma mais homogênea possível.

Todavia, a avaliação da compatibilidade de deformações entre reparo e concreto estrutural, por ora, só transcorre de forma visual, na maioria das obras, e os casos de sucesso e insucesso não são devidamente registrados, o que prejudica a evolução mais rápida das normas e da eficácia dos produtos oferecidos pelas indústrias.



### b) Compatibilidade eletroquímica

Ao realizar-se um reparo, a armadura fica embutida parte no concreto antigo e parte no material de reparo. Isso pode provocar o surgimento da macropilha de corrosão, principalmente em locais aparentemente íntegros, antes da intervenção, e na interface com o reparo. A parte da armadura em contato com o concreto original da estrutura passa a atuar como ânodo, enquanto a parte recuperada passa a funcionar como cátodo. O risco e a intensidade desse mecanismo é muito maior em estruturas contaminadas por cloretos.

Mas, em toda estrutura submetida a reparos localizados, existe o risco de formação de macrocélulas de corrosão, a menos que um dos componentes necessários para o estabelecimento da corrosão, não esteja presente, ou seja, água, oxigênio ou diferença de potencial.

As macrocélulas podem ser descritas como pilhas nas quais as áreas anódicas e catódicas encontram-se consideravelmente afastadas umas das outras. A ação das macropilhas em armaduras do concreto se deve à natureza heterogênea ou a exposições diferenciadas de partes do mesmo concreto, especialmente por aeração diferencial, concentração de umidade ou salina diferencial e diferenças na qualidade do concreto (porosidade, permeabilidade, etc.). Caracteriza-se por um estado superficial típico da barra, no qual se distinguem nitidamente áreas corroídas (anódicas) alternadas com áreas em perfeito estado (catódicas). A compatibilidade eletroquímica deve minimizar a possibilidade desse fenômeno, assim como o acabamento superficial de proteção final da estrutura.

Diversos autores como Helene<sup>12</sup>, Nepomuceno<sup>1</sup> e Cascudo<sup>2</sup> estudaram e detalharam este fenômeno.

A corrosão irá depender dos potenciais de corrosão do ânodo e do cátodo e da resistência ôhmica entre ambos, propriedade dependente da argamassa de reparo e da proteção superficial do concreto.

Há ainda fatores que influenciam o desenvolvimento desse fenômeno, dentre os quais pode-se citar a quantidade de cloretos livres presente na massa do concreto; o grau de saturação dos poros, o qual controla a resistividade elétrica do concreto, o acesso de oxigênio e a temperatura<sup>12</sup>.

Ao final da Tabela 1, estão relacionadas algumas das propriedades das argamassas que podem afetar a compatibilidade eletroquímica do sistema de reparo correspondente.

### c) Durabilidade dos sistemas de reparo

Como a corrosão das armaduras é um fenômeno extremamente complexo, a durabilidade de uma recuperação estrutural irá depender diretamente da precisão do diagnóstico, em definir a causa e o grau de corrosão das armaduras, e da eficiência do projeto e do serviço de recuperação, na especificação e aplicação adequada de materiais e técnicas, para minimizar esse processo.

Isto provavelmente concorre para a dificuldade de se normalizar materiais e métodos nesse campo da engenharia, todavia não justifica a falta de padronização e de classificações dos diversos produtos, para quem necessita especificar e comprar materiais de reparo.

## Propriedades das argamassas

As propriedades mais importante e indispensáveis às argamassas no estado fresco são a manutenção da trabalhabilidade, pois essa garante a aderência do produto, e ainda a densidade de massa aparente, a qual controla o rendimento e a constância do teor de ar incorporado, principalmente para argamassas industrializadas. O controle da consistência em função do tempo pode ser uma propriedade bem informativa da manutenção de trabalhabilidade.

No estado endurecido, a atenção dos pesquisadores é muito maior e uma relação resumida e comparativa entre as principais propriedades discutidas por alguns que se dedicaram ao tema consta na Tabela 2. Observa-se que todos os pesquisadores consideram a retração como propriedade a ser estudada e analisada nas argamassas de reparo, seguida pela aderência, resistência à tração na flexão, resistência à compressão, permeabilidade por porosidade e resistência à carbonatação. As hachuras representam a indicação do pesquisador sobre a respectiva propriedade.

A aderência embora não possa ser considerada como propriedade intrínseca da argamassa, como visto na Tabela 1, foi aqui incluída como tal apenas para efeito de síntese de informação e porque em parte isto pode ser admitido, se for padronizado um substrato padrão para a sua avaliação.

Um dos requisitos mais enfatizados em argamassas de reparo diz respeito ao módulo de elasticidade.

Tabela 2: Propriedades de argamassas de reparo apontadas por diversos autores . 1, 2, 15, 10, 3, 5

Propriedades;Autores	Emberstone Mays; 1990	Decter e Keeley; 1997	Emmons et al; 2000	Catarino et al; 2000	Poston et al; 2001	Medeiros e Selmo; 2003
Retração	///	///	///	///	///	///
Aderência potencial		///	///	///		///
Resistência à Compressão		///	///			///
Resistência à Tração	///	///	///			///
Permeabilidade/Porosidade	///	///	///			
Resistência à Carbonatação				///		///

Vaysburg e Emmons<sup>3</sup> defendem que o material de reparo precisa ter baixo módulo de elasticidade e retração e altos valores de resistência à tração, o que deve garantir resistência ao surgimento de fissuras na interface.

Al-Zahrani et al<sup>4</sup> consideram que um módulo de elasticidade baixo resulta em menor risco de fissuração devido à retração por secagem, mas destacam a necessidade de se ponderar conjuntamente a resistência à tração, a retração por secagem e o módulo de elasticidade, para melhor avaliação da suscetibilidade à fissuração.

Mailvaganam<sup>3</sup> também entende que o baixo módulo de elasticidade pode contribuir para amenizar tensões na interface do reparo decorrentes da retração por secagem ou efeito térmico.

Todavia, Mangat e O'Flaherty<sup>14</sup> relatam extensa comparação de argamassas em recuperação de pontes na Inglaterra, onde os produtos menos suscetíveis à fissuração foram os de módulo de elasticidade maior do que o do substrato, e, portanto o assunto é polêmico, sendo recomendável que esse requisito não

seja ponderado isoladamente, sem a análise de outras solicitações ou propriedades conjuntas.

Um dos trabalhos com classificação quantitativa mais completa dessas propriedades é o de Medeiros e Selmo<sup>5</sup> e esta consta resumida na Tabela 3. Essa proposta de classificação foi elaborada pelos resultados do estudo de 13 argamassas de reparo, sendo 6 de preparo em obra e 7 industrializadas do mercado de São Paulo, em 2001, e ainda com base nas sugestões dos autores citados na Tabela 2. Os métodos de ensaio encontram-se descritos em Medeiros<sup>2</sup> e são na maioria de realização viável por laboratórios especializados, mas algumas propriedades são de determinação mais complexa e demorada, o que não é ideal para uma evolução mais rápida da normalização brasileira. As propriedades que se consideram factíveis para dar início ao processo normativo já foram apresentadas em *itálico* na Tabela 1. Estão revisadas a seguir, principalmente as propriedades no estado endurecido passíveis de inter-relação com outros requisitos de desempenho, mais complexos, e que se propõe por ora desconsiderar para efeito de início da normalização de materiais do mercado.

Tabela 3: Requisitos e critérios sugeridos para controle e especificação de argamassas de reparo superficial para estruturas de concreto, a partir de Medeiros<sup>4</sup> ou Medeiros e Selmo<sup>5</sup>.

MÉTODOS DETALHADOS EM MEDEIROS <sup>2</sup>	LIMITES E FAIXAS PROPOSTAS DE CLASSIFICAÇÃO
Consistência inicial *	Aplicação manual: 200± 10 mm
Retenção de consistência a 1 hora de mistura*	≥ 95%
Resistência à tração na flexão, 28 dias	<b>Alta:</b> ≥11 MPa / <b>Média:</b> 9 a 11 MPa / <b>Baixa:</b> < 9 MPa
Resistência à compressão, 28 dias	<b>Alta:</b> ≥55 MPa / <b>Média:</b> 45 a 55 MPa / <b>Baixa:</b> < 45 MPa
Retração por secagem	<b>Zd – Baixa:</b> < 0,07% / <b>Média:</b> 0,07 a 0,10% / <b>Alta:</b> > 0,10%
	<b>28d – Baixa:</b> < 0,07% / <b>Média:</b> 0,07 a 0,12% / <b>Alta:</b> > 0,12%
	<b>91d – Baixa:</b> < 0,09% / <b>Média:</b> 0,09 a 0,12% / <b>Alta:</b> > 0,12%
Aderência por cisalhamento ou por tração direta a um substrato padrão, ou ainda por esforços mistos em corpos-de-prova que simulam reparos <sup>1</sup>	Ruptura deve preferencialmente ocorrer no concreto de substrato (padrão ou de obra). É importante a avaliação da interface de ruptura, para concluir sobre a qualidade da aderência.
Absorção de água por capilaridade (coeficiente calculado a 24 horas de ensaio)	<b>Baixa:</b> < 0,5 kg/m <sup>2</sup> . h <sup>0,5</sup> / <b>Média:</b> 0,5 a 1,0 kg/m <sup>2</sup> . h <sup>0,5</sup> <b>Alta:</b> > 1,0 kg/m <sup>2</sup> . h <sup>0,5</sup>
Profundidade de carbonatação por ensaio acelerado, método ABCP (duração do ensaio)	<b>28d – Baixa:</b> < 5mm / <b>Média:</b> 5 a 10mm / <b>Alta:</b> > 10mm
	<b>91d – Baixa:</b> < 5mm / <b>Média:</b> 5 a 15mm / <b>Alta:</b> > 15mm

\* Outras faixas podem ser aceitas conforme o método de aplicação e também se considera importante especificar um controle de prazo da consistência para essa, por exemplo, reduzir a 80 % da medida inicial.

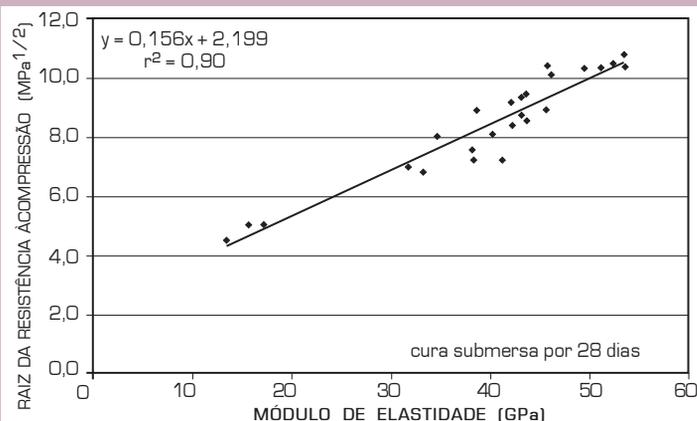


Figura 3: Relação entre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade das argamassas.<sup>2, 5</sup>

Ainda que seja possível considerar classificações isoladas das propriedades das argamassas, como na Tabela 3, é possível algumas correlações e simplificações importantes, mesmo com produtos de diferentes composições, conforme a Figura 3 e a Figura 4.

Na Figura 3, verificou-se uma relação direta e bastante significativa entre os resultados de módulo de elasticidade e de resistência à compressão das argamassas, curadas a úmido por 28 dias e depois secas a 70 °C até constância de massa.

Também obteve-se uma relação inversa entre a resistência à compressão e a profundidade de carbonatação aos 28 dias, pela Figura 4. A título de ilustração do tempo para as argamassas de reparo carbonatarem em função da sua resistência à compressão, o seguinte exemplo pode ser dado com base na relação  $t_t : t_s = c_s : 100$  em Neville<sup>1</sup>, onde  $t_t$  é a profundidade de carbonatação após um período de exposição que pode ser transformado em uma estimativa de tempo  $t_s$  necessário para se atingir a mesma profundidade à concentração de serviço  $c_s$ , considerando que o tempo é inversamente proporcional à concentração de  $CO_2$ .

Adotando-se o valor de  $CO_2$  igual a 0,1%, referente a condições agressivas de exposição e um prazo de 77 anos, uma argamassa que apresente resistência à compressão elevada, como por exemplo, 60 MPa irá carbonatar apenas 10 mm, enquanto outra que apresente resistência à compressão de 25 MPa carbonatará 30 mm em 77 anos.

Assim, a resistência à compressão é uma propriedade básica a ser normalizada, pois pode informar de forma bastante simplificada sobre a resistência à carbonatação e o módulo de elasticidade de uma argamassa de reparo.

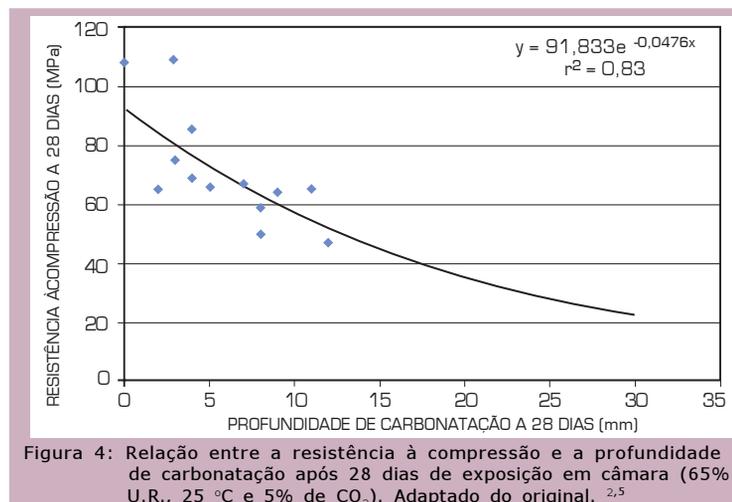


Figura 4: Relação entre a resistência à compressão e a profundidade de carbonatação após 28 dias de exposição em câmara (65% U.R., 25 °C e 5% de  $CO_2$ ). Adaptado do original.<sup>2,5</sup>

Já pelo gráfico da Figura 5, a seguir, observa-se uma relação direta mas não generalizada entre a resistência à tração na flexão e a resistência à compressão. A dispersão deve-se ao fato de algumas argamassas possuírem fibras em sua composição, e por ser frequente a composição com fibras e polímeros das argamassas de reparo, torna-se inviável a avaliação da resistência à tração através da resistência à compressão, uma vez que adições e aditivos atuam diretamente na resistência à tração, recomendando-se que seja pois a segunda propriedade básica a ser normalizada para argamassas de reparo, no estado endurecido.

Propõe-se assim que a resistência à compressão e a resistência à tração na flexão de argamassas de reparo sejam inicialmente adotadas pelos fabricantes em seus catálogos, como ponto de partida para futura normalização. O controle e informação dessas propriedades em idades iniciais e até 7 dias deve também ser recomendado para melhor diferenciar os produtos.

Estabelecer faixas de classificação dessas resistências, com base na Tabela 3, pode ser o passo seguinte na evolução da normalização e isto facilitará a escolha de produtos mais apropriados para cada obra, e o memorial técnico de fabricantes e empresas de recuperação.

## DESCRIÇÃO ATUAL DE ARGAMASSAS E GRAUTES DE REPARO POR FABRICANTES

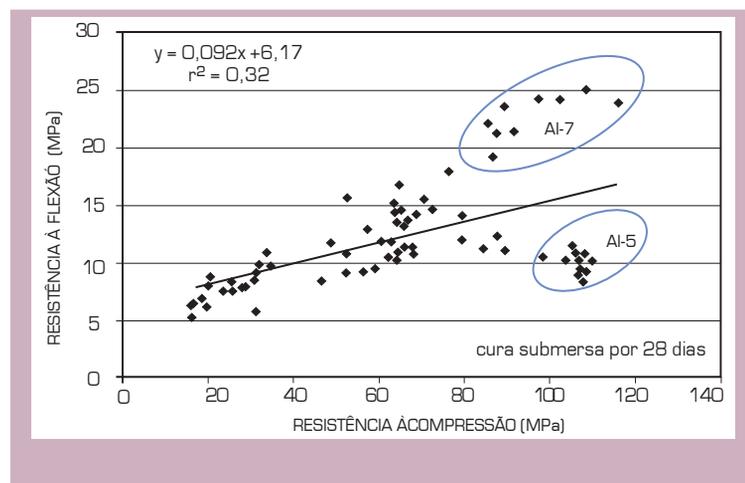
Após análise das especificações descritas em boletins técnicos comerciais de vinte e nove (29) produtos de reparo (superficial e grautes em geral), de cinco grandes fabricantes do mercado nacional, observa-se que os requisitos básicos descritos são meramente qualitativos, pois apresentam alguns resultados de ensaios de caracterização e praticamente nenhuma informação é dada sobre o desempenho na proteção das armaduras contra a corrosão.

Cada produtor destaca apenas as vantagens de seus produtos, não havendo diferenciação clara entre as fichas de produtos semelhantes do mesmo produtor.

Uma visualização resumida das propriedades citadas pelos cinco fabricantes, em catálogos comerciais de suas argamassas de reparo, encontra-se na Tabela 4. As propriedades destacadas são: descrição qualitativa, consumo, composição, resistência à compressão, cor, espessura do reparo, densidade, massa específica, temperatura do substrato, temperatura ambiente e resistência à tração, indicando a ordem de repetições mais frequentes para o total de catálogos analisados.

Dos catálogos consultados, a propriedade mais analisada e numericamente citada é a resistência à compressão mencionada em 16 dos 29 catálogos, seguida pela cor para 13, espessura do reparo com 9, temperatura ambiente (4), temperatura do substrato e densidade (3), massa específica (2) e resistência à tração (1). As citações de

consumo são referentes à cada argamassa, assim como a composição e a descrição qualitativa.

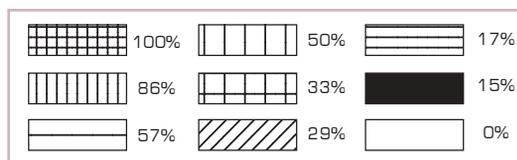


De forma absolutamente incoerente com o que já foi aqui discutido, muito pouco se informa quanto ao prazo de manutenção de trabalhabilidade e quanto à resistência à tração das argamassas.

Por não serem citados valores em todas as argamassas, fica difícil fazer uma comparação e diferenciação entre os produtos, induzindo as especificações serem feitas tão somente por preço ou com base em obras anteriores, em geral, sem desempenho avaliado a médio e longo prazo.

- ◆ retenção de consistência para 1 hora de mistura da argamassa, em % do valor inicial;
- ◆ tempo de manutenção da consistência, até 80 % da inicial;
- ◆ resistência à tração na flexão de argamassa de reparo, informando resistências iniciais e finais (por exemplo, 24 horas, 7 e 28 dias);
- ◆ resistência à compressão, adotando idades similares e níveis que variem de acordo com o desempenho estrutural ou não estrutural das argamassas.

CATÁLOGO		ARGAMASSA								APLICAÇÃO		
Produtor	Nº de argamassa reparo	Descrição qualitativa	Consumo	Composição	Resis. comp.	Cor	Dens.	Massa especif.	Resis. tração	Temp. Amb.	Temp. Substrato	Espessura do reparo
A	2	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]
B	7	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]
C	7	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]
D	6	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]
E	7	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]	[Grid]



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sabe-se que toda obra a ser recuperada pode ter características peculiares e não é recomendável uma padronização única de procedimentos e materiais, que possa ser usada em todos os casos devido às muitas particularidades existentes em cada estrutura.

No entanto, a exemplo do ocorrido na Europa, o meio técnico brasileiro precisa definir uma norma de procedimentos gerais para diagnóstico e recuperação de estruturas com corrosão de armaduras e uma classificação técnica básica para as argamassas de reparo e grautes, pois na fase de projeto e compra é fundamental a diferenciação e o conhecimento de equivalência entre os produtos dos vários fabricantes.

A análise das informações comerciais dos fabricantes feita na Tabela 4 aponta para a necessidade de uma classificação básica comum das argamassas de reparo industrializadas, e que pode evoluir para uma normalização, conforme os fabricantes assumam novas posturas em seus catálogos comerciais, prestigiando metodologias comuns em suas análises de rotina e a serem unificadas nas fichas e catálogos técnicos dos produtos.

A consulta às normas recém-aprovadas na Comunidade Européia seria oportuna, para avaliação das classificações e métodos de ensaios lá adotados.

Mas, para a grande maioria das obras de recuperação, já seria suficiente que os projetistas e engenheiros envolvidos pudessem dispor no mínimo de informações sobre os seguintes requisitos básicos das argamassas ofertadas pelo mercado, como proposto neste trabalho, e resumido a seguir:

- ◆ informação da densidade e rendimento no estado fresco;

Pode então ser útil classificar os materiais apenas de acordo com as suas resistências à flexão e à compressão, pelos níveis e idades preconizados neste artigo ou outros trabalhos mais completos que venham a ser localizados ou desenvolvidos.

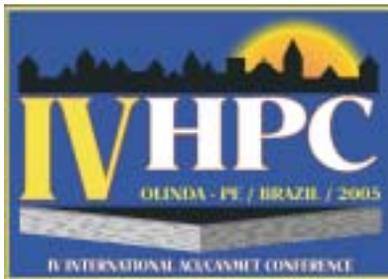
O módulo de elasticidade, a retração por secagem livre das argamassas em condições de baixa umidade relativa (50%), a resistência de aderência à tração a um substrato padrão e outros requisitos mais complexos dos sistemas de reparo, relacionados à compatibilidade mecânica e eletroquímica, certamente são propriedades de interesse, sempre que a durabilidade dos reparos seja um requisito importante do projeto de recuperação e haja condições adversas de exposição, como concreto aparente em atmosferas marinhas, industriais e urbanas muito poluídas.

## AGRADECIMENTOS

À FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo apoio através dos Processos nº 00/04672-3 e nº 03/01729-2. À CAPES por bolsa de mestrado à autora principal.

## Bibliografia

- 1 LANDMAN, R. Inspeção de Obras-de-Arte Especiais Rodoviárias: Abordagem Crítica. Apresentado na 4ª Conferência Anual IBC – “Melhores práticas e novas tecnologias para construção, manutenção e recuperação de pontes, túneis e viadutos”, São Paulo, 2001. Não publicado.
- 2 MEDEIROS, M. H. F. Estruturas de concreto com corrosão de armaduras por carbonatação: Comparação de argamassas de reparo quanto à proteção do aço. 2002. 193p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.
- 3 MAILVAGANAM, N. P. Repair and protection of concrete structures. CRC Press, 1992.
- 4 MEDEIROS, M. H. F. Estruturas de concreto com corrosão de armaduras por carbonatação: Comparação de argamassas de reparo quanto à proteção do aço. 2002. 193p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.
- 5 MEDEIROS, M.H.F.; SELMO, S.M.S. Estruturas de concreto com corrosão de armaduras por carbonatação: comparação de argamassas de reparo quanto à proteção do aço. 2003. 21p. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2003.
- 6 BERTOLO, R. S., SELMO, S.M.S. Durabilidade de reparos superficiais de estruturas de concreto. Projeto de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área Construção Civil e Urbana. Escola Politécnica da USP – PCC, 2003.
- 7 RIBEIRO, J. L. S., SELMO, S.M.S. Estudo da formação de macrocélulas de corrosão na região de reparo das estruturas de concreto armado. Plano de pesquisa de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área Construção Civil e Urbana. Escola Politécnica da USP – PCC, 2003.
- 8 CABRAL, A.E.B. Avaliação da eficiência de sistemas de reparo no combate à iniciação e à propagação da corrosão do aço induzida por cloretos. 2000. 202p. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.
- 9 MEDEIROS, M.H.F.; SELMO, S.M.S.. Desempenho de argamassas para reparos localizados em estruturas de concreto com corrosão de armaduras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 43., Foz do Iguaçu, 2001. Anais. Foz do Iguaçu: IBRACON, 2001.
- 10 CATARINO, J.; GONÇALVES, A.; RIBEIRO, S. Reparação de estruturas de betão na normalização europeia. In: Encontro nacional sobre conservação e reabilitação de estruturas, Lisboa, 2000. Anais. Lisboa, 2000. p. 105-113.
- 11 HELENE, P. R. L. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. 2ª ed., Projeto de divulgação tecnológica – FOSROC/PINI, 1992.
- 12 HELENE, P. R. L. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. 1993. 231p. Dissertação (Livre-Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.
- 13 CUSSON, D; MAILVAGANAM, N. Durability of Concrete Repair Materials, Concrete International, V18, nº 3, 1996
- 14 MANGAT, PS.; O'FLAHERTY, FJ. Influence of elastic modulus on stress redistribution and cracking in repair patches. Cement and Concrete Research. V. 30, pp 125-136, 2000.
- 15 EMMONS, PH; VAYSBURD, AM; McDONALD, JE; POSTON, RW; KESNER, KE. Selecting durable repair materials: Performance criteria, Concrete International, V22, no. 3, 2000.
- 16 NEPOMUCENO, A. A. Comportamiento de morteros de reparacion frente a la carbonatación y la penetración de cloruros en estructuras de hormigon armado dañadas por corrosión de armaduras - Estudio mediante la resistencia de polarización. Madrid, 1992. Tese (Doutorado) - Universidad Politecnica de Madrid, Instituto de Ciencias de la Construccion "Eduardo Torroja"- CSIC.
- 17 CASCUDO, O. O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas. Goiânia. Pini, 1997. 230p.
- 18 VAUSBURD, A.M.; EMMONS, P.H. How to make today's repairs durable for tomorrow – corrosion protection in concrete repair. Construction and Building Materials. v. 14, p. 189-197, 2000.



## IV INTERNATIONAL ACI/CANMET CONFERENCE ON

QUALITY OF CONCRETE STRUCTURES AND RECENT  
ADVANCES IN CONCRETE MATERIALS AND TESTING

Olinda Brazil, September 6-7, 2005

In honor of V. Mohan Malhotra

Chairperson: Paulo Helene

Chemical Admixtures; Deformations, Creep and Cracking Control; Durability; Fiber Concrete; Fire Resistance;  
Non Destructive Tests; Quality Control; Structural Behavior; Strengthening of Structures;  
Supplementary Cementing Materials; Sustainability

### NATIONAL SPONSORS

Universidade Federal de Goiás (UFG)  
Universidade de São Paulo (USP)  
Universidade de Pernambuco (UPE)  
FURNAS Centrais Elétricas S.A.  
IBRACON Instituto Brasileiro do  
Concreto

### INTERNATIONAL SPONSORS

American Concrete Institute (ACI)  
Canada Center of Mineral and Energy  
Technology (CANMET)

### KEYNOTE SPEAKERS

BERNOIT FOURNIER (CANADA)  
CHARLES NMAI (USA)  
MARIO COLLEPARDI (ITALY)  
SUNEEL VANIKAR (USA)  
TARUN R. NAIK (USA)  
TERENCE HOLLAND (USA)

### REGISTRATION FEES

IBRACON Brazilian Concrete Institute  
Arlene Regnier de Lima Ferreira  
Fone: +55 11 3714-2149 / 3767-4106  
E-mail: [arlene@ibracon.org.br](mailto:arlene@ibracon.org.br)  
[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)

### SCIENTIFIC AND TECNICAL CONTACT

IV INTERNATIONAL ACI/CANMET CONFERENCE ON  
QUALITY OF CONCRETE STRUCTURES AND RECENT  
ADVANCES IN CONCRETE MATERIALS AND TESTING

Enio Pazini Figueiredo  
Moacir Alexandre Souza de Andrade  
FURNAS Centrais Elétricas S. A.  
Civil Engineering Technological Center  
Caixa Postal 457 Centro Goiânia/GO-Brasil  
CEP: 74001-970  
Tel: +55 (62) 239-6513  
Fax: +55 (62) 239-6500

[www.furnas.com.br/hpc2005](http://www.furnas.com.br/hpc2005)  
[hpc2005@furnas.com.br](mailto:hpc2005@furnas.com.br)



**ITAMBÉ**  
*COMO* **VOCÊ**  
A COMPANHIA CERTA

Crescer é construir juntos.



A Itambé acredita que um relacionamento construído com *amizade, confiança e equilíbrio* é a base para as grandes realizações. E esse relacionamento vai além da oferta de produtos e serviços de qualidade, treinamento, capacitação e assessoria técnica especializadas. Por isso, a Itambé oferece um *atendimento diferenciado e exclusivo*, procura conhecer as necessidades de seus clientes e busca sempre a *melhor solução, a solução na medida certa*.

**Itambé com você – a companhia certa**

[www.cimentoitambe.com.br](http://www.cimentoitambe.com.br)



## Ponte sobre o Rio Almonte (Espanha)

A nova rodovia de La Plata, a A-66, atravessa o rio Almonte, um afluente do rio Tajo, entre Hinojal e Cáceres. Para atravessar o rio, estão sendo construídas duas pontes em arcos; uma ao lado da outra. O comprimento total da ponte é de 432 m e o raio dos arcos mede 184 m. O projeto iniciou-se em 2002 e tem previsão de término para o final de 2005.

A empresa de fôrmas elaborou um sistema de fôrmas para balanços sucessivos para os arcos de 47 m cada um, a partir dos arranques. Este sistema de fôrmas para balanços sucessivos é de rápida construção, permitindo a concretagem da seção completa. A concretagem se realiza, por motivos de prazos, desde as bordas. Para cada metade de arco são feitas 17 concretagens de 5.85m de comprimento cada um. Prevê-se o ciclo de concretagem de uma semana, incluindo os procedimentos com o carro, ajustes nas formas, colocação das armaduras e concretagens.

Para cada quatro seções do arco nasce um pilar. A distância entre estes pilares é de 22 m. O pilar mais alto mede 40 m e tem a seção de 2,5 x 4,5 m. Para as duas pontes serão construídos 36 pilares e para cada pilar um jogo de fôrma, composta pelo sistema trepante. Esta combinação facilita a rapidez e aumenta a segurança da fôrma trepante. As amplas plataformas do sistema oferecem uma superfície de trabalho ideal. Em si, a superestrutura será completada por um tabuleiro. Sua largura é de 13,5 m para cada ponte.



### Dados técnicos

**Início da obra:** 2002  
**Previsão de término:** 2005  
**Comprimento da ponte:** 432 m  
**Raio dos arcos:** 184 m  
**Ciclo de concretagem:** 1 semana  
**Empresa de fôrma:** DOKA  
**Construtora:** Necso

# Mandarim

## O maior empreendimento residencial do país



O maior empreendimento residencial do país, uma torre de 137 m de altura em relação ao piso do pavimento térreo e, aproximadamente, 145 metros em relação à cota de apoio das sapatas, está sendo construído em São Paulo. O edifício tem previsão de construção em 33 meses e foi inteiramente projetado em estrutura reticulada de concreto armado, a qual foi concluída em abril de 2005.

A estrutura foi projetada com concreto de resistência característica -  $f_{ck}$  - de 35 MPa até 29º pavimento e, acima deste, com 30 MPa. O volume de concreto aplicado, excetuadas as fundações e contenções, foi de 11.000 m<sup>3</sup>. Para as mesmas condições, foram aplicadas 1550 toneladas de armadura. Se considerarmos somente a estrutura da torre, do pavimento térreo para cima, a estrutura apresentou espessura média de 0,30 cm por m<sup>2</sup> de área de projeção e taxa de 123 kg de armadura por m<sup>3</sup> de concreto.

Uma das maiores dificuldades encontradas na execução desta estrutura foi a significativa variação do lançamento estrutural de um pavimento para o outro, variação esta que, obviamente, decorreu da grande variação da arquitetura entre pavimentos consecutivos. Esta variação pode ser ilustrada pelo número de folhas de projeto: fôrma estrutural: 46 folhas; armadura: 167 folhas; arquitetura: 79 folhas.

Para o sistema de fôrmas adotou-se a solução de moldes confeccionados em chapa de madeira de compensada plastificada com 18mm de espessura e estruturação, para os painéis de pilares e vigas, com madeira serrada. Para o cimbramento das lajes utilizou-se de escoras e torres metálicas, com longarinas e transversinas em vigas de madeira com 20cm de altura. Para as vigas com pé-direito até 2,88m empregaram-se garfos de madeira, previstos no projeto de fôrma e fabricados no canteiro e, acima desta altura, torres metálicas com longarinas e transversinas iguais às das lajes. Apesar da significativa variação da fôrma entre pavimentos "tipo", o índice obtido para a mão-de-obra de montagem e desmontagem do sistema de fôrma destes pavimentos "tipo" foi surpreendente, em média de 0,49 Hh/m<sup>2</sup>.



**Volume de Concreto:** 11.000 m<sup>3</sup>

**Altura:** 137 m

**Construtora:** Cyrela

**Projetistas:**

**Arquitetura:** Itamar Berezin

**Estrutura:** JKMF

**Fôrma de madeira:** Paulo Assahi

**Cimbramento metálico:** DOKA