

CONCRETO

& Construções



IBRACON
Instituto Brasileiro de Concreto

Ano XLII

75

JUL-SET • 2014

ISSN 1809-7197
www.ibracon.org.br

SETOR EÓLICO

CONTRIBUIÇÕES DO CONCRETO PARA FUNDAÇÕES E TORRES DE AEROGERADORES



PERSONALIDADE ENTREVISTADA

ELBIA MELO:
PRESIDENTE-EXECUTIVA
DA ABEEÓLICA

OBRAS EMBLEMÁTICAS

TÚNEL SUBMERSO
SANTOS-GUARUJÁ

INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

CAA NA INDÚSTRIA
DE PRÉ-FABRICAÇÃO

Esta edição é um oferecimento das seguintes Entidades e Empresas

 **Abcic**
Associação Brasileira da Construção
Industrializada de Concreto

 **CIMENTO
NACIONAL**

 **ENGEMIX**
 **Votorantim**
Cimentos



GRACE
 **RheoSet**

 **Holcim**

 **ITAMBÉ**
Cimento para toda vida



 **MEGA concreto**

 **PENETRON**

RR COMPACTA
Engenharia Restauração Recuperação

 **SNIC**
SINDICATO NACIONAL DA
INDÚSTRIA DO CIMENTO

 **T & A**
PRÉ-FABRICADOS

 **viapol**
Imprescindível
Nessa marca e proteger sua obra.

Adote concretamente

a revista **CONCRETO & Construções**



Instituto Brasileiro do Concreto

Organização técnico-científica nacional de defesa e valorização da engenharia civil

Fundada em 1972, seu objetivo é **promover e divulgar conhecimento sobre a tecnologia do concreto e de seus sistemas construtivos para a cadeia produtiva do concreto**, por meio de publicações técnicas, eventos técnico-científicos, cursos de atualização profissional, certificação de pessoal, reuniões técnicas e premiações.

Associe-se ao IBRACON! Mantenha-se atualizado!

- Receba gratuitamente as quatro edições anuais da **revista CONCRETO & Construções**
- Tenha descontos de até **50%** nas **publicações técnicas do IBRACON** e de até **20%** nas **publicações do American Concrete Institute (ACI)**
- Descontos nos eventos promovidos e apoiados pelo **IBRACON**, inclusive o **Congresso Brasileiro do Concreto**
- Oportunidade de participar de **Comitês Técnicos**, intercambiando conhecimentos e fazendo valer suas **opiniões técnicas**

Fique bem informado!

 www.ibracon.org.br

 facebook.com/ibraconOffice

 twitter.com/ibraconOffice

EMPRESAS E ENTIDADES LÍDERES DO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL ASSOCIADAS AO IBRACON

ADITIVOS



RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL



ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



Escola Politécnica - USP

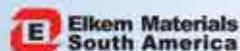


Sua Universidade Completa,
Sua Carreira

ARMADURA



ADIÇÕES



Concreto de Alto Desempenho

JUNTAS



EQUIPAMENTOS



Equipamentos e Serviços de Formas



ESCRITÓRIOS DE PROJETOS



Engenharia



A Engenharia



ENGENHARIA

JUNTE-SE A ELAS

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

PRÉ-FABRICADOS



CONTROLE TECNOLÓGICO



FORMAS



CONSTRUTORAS



CIMENTO



AGREGADOS



GOVERNO



CONCRETO





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
Túlio Nogueira Bittencourt

DIRETOR 1º VICE-PRESIDENTE
Julio Timerman

DIRETOR 2º VICE-PRESIDENTE
Nelson Covas

DIRETOR 1º SECRETÁRIO
Antonio Domingues de Figueiredo

DIRETOR 2º SECRETÁRIO
Arcindo Vaquero Y Mayor

DIRETOR 1º TESOUREIRO
Claudio Sbrighi Neto

DIRETOR 2º TESOUREIRO
Carlos José Massucato

DIRETOR DE MARKETING
Hugo da Costa Rodrigues Filho

DIRETOR DE EVENTOS
Luiz Prado Vieira Júnior

DIRETORA TÉCNICA
Inês Laranjeira da Silva Battagin

DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS
Ricardo Lessa

DIRETOR DE PUBLICAÇÕES E DIVULGAÇÃO TÉCNICA
Paulo Helene

DIRETORA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO
Ana Elisabete Paganelli Guimarães A. Jacintho

DIRETORA DE CURSOS
Iria Lícia Oliva Doniak

DIRETORA DE CERTIFICAÇÃO DE MÃO DE OBRA
Roseni Cezimbra



CRÉDITOS CAPA
PARQUE EÓLICO DO TRAIR/CE
CRÉDITO: MC



ESTRUTURAS EM DETALHES

- 24 Desenvolvimento atual e potencial futuro do concreto para fundações e torres eólicas
- 36 Evolução das torres eólicas pré-moldadas protendidas
- 42 Realizações do concreto no setor eólico
- 49 Desafios na solução de fundações para aerogeradores
- 62 Qualidade do concreto no Parque Eólico de Casa Nova
- 69 Soluções na consolidação e proteção de torres eólicas

OBRAS EMBLEMÁTICAS

- 78 Túnel submerso Santos-Guarujá

INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

- 89 Concreto autoadensável na indústria de pré-fabricação

NORMALIZAÇÃO TÉCNICA

- 100 Novidades nas normas técnicas relacionadas ao concreto e suas aplicações

seções

- 07 Editorial
- 08 Coluna Institucional
- 10 Converse com IBRACON
- 12 Encontros e Notícias
- 17 Personalidade Entrevistada: Elbia Melo
- 74 Mercado Nacional
- 98 Mantenedor
- 106 Acontece nas Regionais
- 109 Agenda



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 1809-7197
Tiragem desta edição: 5.500 exemplares
Publicação Trimestral distribuída gratuitamente aos associados

JORNALISTA RESPONSÁVEL
Fábio Luis Pedrosa - MTB 41728
fabio@ibracon.org.br

PUBLICIDADE E PROMOÇÃO
Arlene Regnier de Lima Ferreira
artlene@ibracon.org.br
Hugo Rodrigues
hugo.rodrigues@abcp.org.br

PROJETO GRÁFICO E DTP
Gill Pereira
gill@ellementto-arte.com

ASSINATURA E ATENDIMENTO
office@ibracon.org.br

Gráfica: Ipsis Gráfica e Editora
Preço: R\$ 12,00
As ideias emitidas pelos entrevistados ou em artigos assinados são de responsabilidade de seus autores e não expressam, necessariamente, a opinião do Instituto.

Copyright 2014 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.

PRESIDENTE DO COMITÊ EDITORIAL
■ Eduardo Barros Milten (protendido)

COMITÊ EDITORIAL - MEMBROS
■ Arnaldo Forti Battagin (cimento e sustentabilidade)
■ Enio Pazini de Figueiredo (durabilidade)
■ Evandro Duarte (protendido)
■ Frederico Falconi (projetista de fundações)
■ Guilherme Parsekian (alvenaria estrutural)
■ Hugo Rodrigues (cimento e comunicação)
■ Inês L. da Silva Battagin (normalização)
■ Iria Lícia Oliva Doniak (pré-fabricados)
■ José Tadeu Balbo (pavimentação)
■ Nelson Covas (informática no projeto estrutural)
■ Paulo E. Fonseca de Campos (arquitetura)
■ Paulo Helene (PhD, Alconpat, Epusp)
■ Selmo Chapira Kuperman (barragens)



IBRACON
Rua Julieta Espírito Santo
Pinheiro, 68 - CEP 05542-120
Jardim Olímpia - São Paulo - SP
Tel. (11) 3735-0202



Concreto: o campeão da COPA FIFA 2014

Prezado leitor,

Recentemente participei de um programa ao vivo na TVN do Chile, onde fui entrevistado por mais de 20 minutos para falar das obras relacionadas com a Copa do Mundo FIFA 2014 e as Olimpíadas 2016. Como tive a oportunidade de trabalhar nas obras do Maracanã, Beira-Rio, Arena Corinthians e Parque Olímpico, pude passar à população chilena minha visão otimista em relação à engenharia nacional.

Comentei que, depois dos anos 70, ficamos sem grandes obras, o que ocasionou o fechamento, a desmobilização ou a diminuição do número de escritórios e profissionais ligados a projetos de infraestrutura e de grande impacto social. Tal era a carência desses projetistas que os que permaneceram tiveram que se

associar a projetistas internacionais, para atender aos inúmeros projetos relacionados aos eventos esportivos no Brasil. A mão de obra especializada teve e terá que ser treinada dentro e fora dos canteiros de obra, para atender aos prazos e à qualidade exigida pela FIFA (Federação Internacional de Futebol Associado), COI (Comitê Olímpico Internacional) e às normativas, diretrizes e legislações nacionais e internacionais, inclusive às relacionadas à acessibilidade e sustentabilidade. Tivemos que aprender durante o processo como realizar uma obra com certificação internacional em sustentabilidade, pois, antes, isso não era exigido com a ênfase que nos foi e está sendo solicitada.

Acredito que, com as experiências que estamos tendo, poderemos produzir uma normativa nacional sobre sustentabilidade, muito mais adequada às nossas especificidades. Novos produtos com características técnicas e de sustentabilidade surgiram no mercado nacional, o que demandou uma maior aproximação das universidades e institutos de pesquisa com as empresas privadas e governamentais. Evoluímos tecnicamente a ponto de me atrever a dizer que o grande legado desses grandes eventos será o TÉCNICO, pois asseguramos, pelo menos, a formação de duas gerações de trabalhadores da construção civil acostumados com os desafios das grandes obras, que trarão benefícios sociais ainda maiores que os advindos das atuais obras. Com isso, não quis dizer aos chilenos que as obras que estão prontas e as que estarão prontas até as Olimpíadas não representam um legado social importante. Muito pelo contrário. Apenas quis dizer aos chilenos que, do ponto de vista da engenharia, o legado técnico pode levar a um legado social ainda maior. Caberá aos brasileiros saber usar com inteligência os conhecimentos produzidos, administrar e manter o que foi construído e aprender com nossos erros. Disse aos chilenos que acreditava que, com o tempo, a sociedade conseguirá entender a grandeza do momento técnico que estamos passando.

E o que o concreto tem haver com isso? Tudo. Pois o concreto foi o material estrutural mais empregado na construção das arenas. O concreto foi utilizado na forma de concreto armado tradicional, concreto protendido, concreto pré-moldado, concreto pré-fabricado, concreto reabilitado, concreto reciclado, microconcreto de recuperação e reforço, *steel deck*, concreto colorido, concreto autoadensável, entre outras formas. O concreto mostrou, nos estádios que foram reabilitados (Maracanã, Beira-Rio, Mineirão e Castelão), que é um material estrutural durável. No caso do Maracanã, as estruturas de concreto produzidas com a tecnologia executiva da década de 40 são um verdadeiro sucesso, pois foram reabilitadas e suas vidas úteis foram ampliadas e asseguradas, desde que os procedimentos de manutenção sejam atendidos. A beleza plástica dos estádios que foram construídos com concreto foi alvo de elogios da mídia nacional e internacional. Apesar disso tudo, ainda temos desafios pela frente. E isto é o que motiva o desenvolvimento da área. Temos que avançar em projeto e tecnologia de produção de coberturas de estádios. A coexistência de diferentes sistemas construtivos e a diversidade de tecnologias são benéficas para a sustentabilidade. O uso de estruturas mistas ou híbridas demonstra o grande potencial do concreto nesta área.

Bem, queridos leitores, agora vamos torcer para que, assim como o concreto, o Brasil também seja vencedor nas Olimpíadas 2016.

Enio Pazini Figueiredo

PROFESSOR TITULAR DA UFG

CONSELHEIRO DO IBRACON •

Programa Master PEC e a Capacitação Profissional

Há dois anos e meio, ao assumir a Diretoria de Cursos do IBRACON, tendo sempre por princípio avaliar todo o contexto, iniciei pesquisando a evolução da Engenharia e do seu Ensino no Brasil e no Mundo. Precisava ter uma noção exata do momento em que nos encontrávamos, do que precisávamos, e correlacionar isto com o estatuto do Instituto e com a importante tarefa que me foi proposta - a reformulação do programa MasterPEC (Master em Produção de Estruturas de Concreto). Este programa foi idealizado pelo Prof. Paulo Helene, durante sua gestão como Presidente, com o principal objetivo de transferir os conhecimentos de importantes profissionais e empresas associadas para jovens profissionais, de uma forma complementar ao ensino acadêmico, sem jamais ter a pretensão de substituí-lo em quaisquer dos níveis de ensino.

Havia falta de mão de obra intelectual no mercado, motivo pelo qual as empresas intensificaram a contratação de estagiários, principalmente alunos no último ano do curso de graduação, visando, paralelamente à conclusão do curso, desenvolver no futuro profissional competências específicas nas áreas de maior carência dentro de suas próprias estruturas. Desta forma, ao se formar, o jovem profissional já estaria alinhado não só com as demandas, mas também com a organização e, obviamente, mais preparado para assumir suas funções.

O MasterPEC veio a contribuir com essa carência por profissionais recém-formados melhor qualificados, inclusive de cursos técnicos relacionados com a Engenharia do Concreto.



Por ter uma importante interface com áreas de atuação relacionadas com outras entidades, como a ABCIC (Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto), a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) e ABECE (Associação Brasileira de Consultoria e Engenharia Estrutural), passou a admitir, a partir do ano passado, parcerias nos cursos dessas entidades, que passaram a contar créditos no Programa até um percentual de 40% dos 150 créditos totais. Mais recentemente foi aprovada a possibilidade de incluir cursos de instituições privadas, desde que associadas ao Instituto e com previa ratificação da Diretoria Técnica do IBRACON, que, em conjunto com a de Cursos, valida o conteúdo e a qualificação dos professores envolvidos, a fim de assegurar a credibilidade do Programa.

O objetivo de tais ações foi a otimização do potencial existente e a valorização do incansável trabalho das entidades do setor, que há anos têm por missão difundir o conhecimento, sem fins lucrativos, necessitando, por isso, patrocinadores para subsidiar os custos.

Não poderia esquecer da importante contribuição de entidades internacionais, como a RILEM (*International Union of Laboratories and Experts in Construction, Materials, Systems and Structures*), cuja parceria possibilitou recentemente, durante o 54º Congresso Brasileiro do Concreto, realizado em Maceió, contar com os professores Geert De Shutter e Bernardo Tutikian no curso intensivo sobre concreto autoadensável. Da mesma forma, no 55º Congresso Brasileiro do Concreto, em Gramado, os professores

Ravindra Gethu e Antonio Domingues de Figueiredo ministraram curso sobre o concreto reforçado com fibras. A experiência internacional, quando acompanhada por profissionais locais, é sempre salutar, pois possibilita alinhar a visão global com as práticas locais.

Além do MasterPec, é fundamental citar outra importante atividade relacionada ao ensino, que teve início no dia 7 de maio e que diz respeito à capacitação para inspeção de estruturas de concreto. O programa “Edificação mais Segura” tem por objetivo a redução de riscos e aumento da vida útil das estruturas de edificações. Coordenado pela experiente consultora, engenheira e também professora, Maria Angélica Covelo Silva, é promovido e desenvolvido pela ABECE, pela ALCONPAT (Associação Brasileira de Patologia nas Construções) e pelo IBRACON. Estas entidades mantêm representantes como parte integrante do grupo gestor do programa. O corpo docente é formado por profissionais de renome, reconhecidos por sua expertise em projeto, inspeção e diagnóstico de estruturas de concreto e por sua atuação, em tristes “cases” de

acidentes que nosso país presenciou especialmente nas últimas duas décadas.

Reitero aqui, em nome de nossa Diretoria e Conselho, o apoio de nossos parceiros e patrocinadores, não só aos cursos e eventos do Instituto, mas também às nossas publicações, sem as quais o ensino por si só não avançaria como se espera na capacitação dos profissionais, quando se faz necessário também a permanente atualização de conteúdo. Esta atitude tem viabilizado, quer nas revistas ou outras publicações, a valorização e contínuo desenvolvimento da Engenharia de Concreto no Brasil.

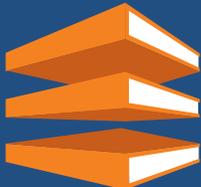
Para finalizar, lembro a todos os nossos leitores que alguns cursos do Master PEC integram a programação do 56º Congresso Brasileiro do Concreto, que se realizará de 7 a 10 de outubro, em Natal. Convido todos a acessarem a programação e regulamento do programa MasterPec no site www.ibracon.org.br.

Íria Lícia Oliva Doniak
PRESIDENTE-EXECUTIVA DA ABCIC
DIRETORA DE CURSOS DO IBRACON ●

CURSOS MASTER PEC

programa

MASTER

P  C

IBRACON

SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

8 de outubro, das 14h00 às 18h00

Instrutores: Eng. Paulo Helene (PhD)
e Engª Íria Doniak (Abcic)

ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO

9 de outubro, das 9h00 às 18h00

Instrutores: Íria Doniak (Abcic) e Carlos Franco
(CAL-FAC Consultoria e Engenharia)

LOCAL

Centro de Convenções de Natal, RN

(durante o 56º Congresso Brasileiro do Concreto)

INSCRIÇÕES/INFORMAÇÕES

www.ibracon.org.br | Tel. (11) 3735-0202
vanessa@ibracon.org.br

CONVERSE COM O IBRACON

PERGUNTAS TÉCNICAS

QUANDO DEVE SER FEITA A LIBERAÇÃO DA INTRODUÇÃO DA PROTENSÃO EM UMA PEÇA?

Atualmente, vários projetistas têm vinculado fortemente a liberação da introdução de protensão em uma peça pelos valores de f_{ck} (resistência característica do concreto) e E_c (módulo de deformação longitudinal), conduzindo ao fato de ser introduzida a protensão após 10 dias corridos da concretagem e cura da peça. Este fato, além de prejudicar a continuidade dos serviços da empresa de protensão (não liberar o escoramento para outras aplicações), também cria um problema de liberdade de ação das fissuras de retração, as quais somente serão combatidas após a introdução da protensão.

Como em nossa Norma ABNT NBR 6118, em princípio mãe de todas as outras normas estruturais, não consta tal vinculação, isto tem conduzido a que alguns projetistas, na busca de menores deformações residuais da estrutura, utilizem desta especificação para melhorar o desempenho das deformações lentas ao longo do tempo.

Cabe perguntar se efetivamente o E_c aumenta tanto seu valor após 72 horas da concretagem, que justifique que a maioria dos concretos sejam liberados para a protensão pelo f_{cj} em poucos dias e não pela busca de um valor elevado de E_c .

A COMPARAÇÃO DO ALONGAMENTO REAL COM O ALONGAMENTO TEÓRICO CORRIGIDO SERVE PARA LIBERAÇÃO DA PROTENSÃO?

A prática dos projetistas de concreto pretendido tem indicado que o limite de liberação de uma dada protensão seja, na pior hipótese, tal que o valor do alongamento real esteja dentro de uma faixa de + ou - 10% do alongamento



Figura 1 – Viga longarina (fonte: Arquivo confidencial MAC Sistema Brasileiro de Protensão)

gamento teórico corrigido. Em alguns casos podendo exigir que o valor chegue a + ou - 5%.

Esta variação dada pela prática e pela antiga norma de execução de protensão tem sido proposta principalmente pela possível variabilidade dos valores relativos ao estudo de perdas de atrito do cabo no interior da bainha, como também pela possível perda interna do conjunto bomba e macaco de protensão. Sabe-se que o valor de alongamento real calculado em cada cabo é sempre após a introdução da protensão e referenciado sem a inclusão da operação de cravação das cunhas de ancoragem, de tal modo que o valor deste alongamento real seja confrontado após a introdução da totalidade da força de protensão neste cabo.

No presente momento, temos nos deparado com resultados de módulos de elasticidade do aço de protensão com valores extremamente diferentes dos fornecidos pelos fabricantes deste aço. Por ocasião da redação da norma de aços de protensão, tivemos acesso aos resultados conquistados por um dado fabricante deste aço em seu laboratório (laboratório que executa mais

de 1.000 ensaios em um ano), com uma variação de valores na ordem de 8%. Temos acompanhado resultados de ensaios de *Ea* feito por outros laboratórios com uma diferença do ensaio do fabricante de mais de 10% (em nossa norma, deixamos bem registrado que resultados de laboratórios independentes superiores a 5% deveriam ser descartados, para ser adotado o resultado do fabricante).

Portanto, a pergunta que cabe neste momento é: sendo os valores do limite de variação, no máximo, de 10% e o item não levado em conta nesta variação já retira deste um valor próximo de 8%, somente fica uma variação de 2% para confrontar com a variabilidade usual dos coeficientes de perda por atrito e perda interna dos equipamentos. Sendo assim, as informações passadas aos projetistas para a liberação do cabo e de sua injeção ficam totalmente distorcidas devido ao fato acima indicado. Como corrigir esta situação, já que sabemos que o Módulo de Elasticidade do Aço não é variável e sim um valor bem definido e constante?

Respondidas por Evandro Duarte, diretor da empresa Mac Protensão e membro do Comitê Editorial

PORQUE O IBRACON ESTÁ PROMOVEDO CONCURSOS ONDE UM CORPO DE PROVA É CÚBICO E O OUTRO ESFÉRICO?

(ANDRÉ CINTRA - UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE)

Por apresentar pelo menos duas faces paralelas entre as seis existentes, o corpo de prova cúbico não demanda nenhum processo de preparação ou retificação, o que traz mais confiabilidade aos resultados obtidos, além de ser mais sustentável pelo fato de eliminar a necessidade de capeamento com pasta de enxofre, admitindo-se a utilização de moldes adequados. Por esse motivo, entende-se que estudos envolvendo esse tipo de corpo de prova devem ser realizados.

A moldagem de uma esfera de concreto incentiva a solução de problemas envolvendo concretagens de elementos estruturais em concreto de dimensões e formatos especiais.

Respondida por Jéssika Pacheco, da Comissão Organizadora de Concursos Estudantis do IBRACON no biênio 2013-2015 •

A INDÚSTRIA DE ESTRUTURAS PRÉ-MOLDADAS NO BRASIL TEM VIABILIZADO IMPORTANTES PROJETOS.



As vantagens deste sistema construtivo, presente no Brasil há mais de 50 anos:

- Eficiência Estrutural;
- Flexibilidade Arquitetônica;
- Versatilidade no uso;
- Conformidade com requisitos estabelecidos em normas técnicas ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas);
- Velocidade de Construção;
- Uso racional de recursos e menor impacto ambiental.

CONHEÇA NOSSAS AÇÕES INSTITUCIONAIS
E AS EMPRESAS ASSOCIADAS.

www.abcic.org.br

Abcic
Associação Brasileira da Construção
Industrializada de Concreto

Projeto Estrutural de Edifícios de Concreto Armado

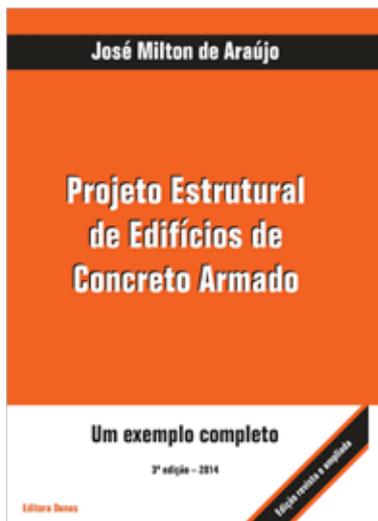
→ **Autor:** Prof. Milton de Araújo

→ **Editora:** Dunas

Manual para o projeto de edifícios de concreto armado, o livro aborda desde o projeto arquitetônico e a definição da estrutura, passando por cálculo e detalhamento de lajes, projeto de escada, das vigas da subestrutura contraventada, dos pilares, do reservatório e das fundações, até paredes estruturais.

Completamente revisado e atualizado de acordo com a ABNT NBR 6118:2014.

→ **Informações:** www.editoradunas.com.br

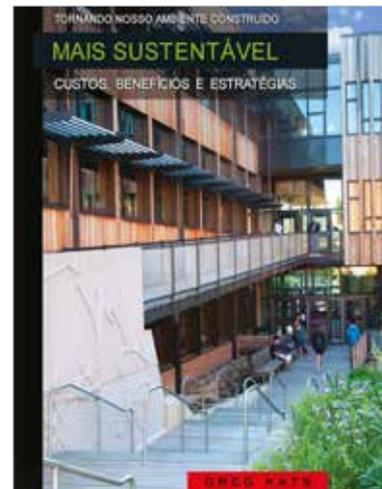


→ **Autor:** Greg Kats

→ **Editora:** Secovi-SP

Com base na análise de mais de 170 edifícios certificados como "green buildings", a obra aborda a relação entre custos relacionados com a construção mais sustentável e sua rentabilidade em termos da economia de energia e água, dos aumentos na criação de empregos, na saúde, na produtividade e no valor do imóvel, além dos inegáveis benefícios ao meio ambiente, principalmente pela diminuição no volume de emissão de gases na atmosfera. A versão digital da obra em português pode ser acessada para download gratuito no portal.

→ **Informações:** www.secovi.com.br/downloads



A revista CONCRETO & Construções presta-se à divulgação das obras do setor construtivo, sem qualquer endosso.

CIMENTO NACIONAL. O CIMENTO COM A FORÇA DO BRASIL É SEMPRE UMA GARANTIA DE QUALIDADE NA SUA OBRA.



O **Cimento Nacional** tem maior rendimento na aplicação, com grande aderência, alta resistência, qualidade constante e uniforme. É cimento forte, moderno, de alta tecnologia, com a tradição do **Grupo Ricardo Brennard**.

Com o **Cimento Nacional** você tem qualidade superior e alta performance em todo tipo de aplicação.

www.cimentonacional.com.br
CAC - 0800 201 0021

**QUALIDADE
BRENNARD**
CIMENTOS



ENECE 2014

A Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural – ABECE realiza nos dias 30 e 31 de outubro, em São Paulo, seu 17º Encontro Nacional de Engenharia e Consultoria Estrutural – ENECE 2014.

Na abertura do evento, será realizada a cerimônia de entrega do

12º Prêmio Talento Engenharia Estrutural, que homenageia profissionais da área de projetos estruturais em quatro categorias: infraestrutura; edificações; obras de pequeno porte; e obras especiais. As inscrições estão abertas.

→ Informações: www.abece.com.br

VI Simpósio Latino-Americano sobre Tensoestruturas e Simpósio Internacional da IASS

O VI Simpósio Latino-Americano sobre Tensoestruturas e o Simpósio Internacional da IASS 2014 vão acontecer de 15 a 19 de setembro, no Centro de Convenções Ulysses Guimarães, em Brasília. Promovido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e pela Associação Internacional para as Cascas e as Estruturas Espaciais (IASS), o Simpósio tem como tema geral “Cascas, membranas e estruturas espaciais: footprints” e apresentará trabalhos sobre o

projeto conceitual, análise e projeto estrutural, morfologia estrutural, ferramentas computacionais de projeto, materiais inovadores e recicláveis, detalhamento estrutural, tecnologias de construções de estruturas leves, de baixo consumo de materiais, com capacidade de vender grandes vãos. Em suma: trabalhos capazes de contribuir para a redução da pegada ecológica do setor construtivo.

→ Informações: www.iass2014.org

V Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas

Com uma periodicidade de oito anos, as Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas (JPEE) têm sido organizadas desde 1982 pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). A quinta edição vai acontecer de 26 a 28 de novembro,

em Lisboa, conjuntamente com o Encontro Nacional de Betão Estrutural 2014 e o 9º Congresso Nacional sobre Sismologia e Engenharia Sísmica.

→ Informações: www.jp2014.lnec.pt



Orgulho em construir
o futuro do país,
na direção certa.

Há mais de 70 anos no mercado, a Votorantim Cimentos é uma das principais produtoras de cimento do mundo e líder no setor no Brasil. Com um portfólio completo de soluções para a construção civil, traz inovação, qualidade e resultados para obras de diferentes portes. São projetos que auxiliam na construção de um caminho firme para o desenvolvimento do país.



Votorantim
Cimentos

CIMENTOS • CONCRETOS • AGREGADOS • ARGAMASSAS • CALES

Segunda Conferência Internacional de Barragens

O Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal – LNEC vão promover a II Conferência Internacional de Barragens (Dam World 2015), em Lisboa, Portugal, de 21 a 24 de abril.

A Conferência vai discutir temas científicos e técnicos relacionados ao projeto, construção, operação e manutenção de barragens, congregando os engenheiros de barragens e as indústrias do setor.

A Conferência recebe trabalhos técnico-científicos até 15 de setembro de 2014. Os cinco melhores trabalhos apresentados na II Conferência Internacional de Barragens serão publicados num capítulo especial do periódico “*Dam Engineering Journal*”.

Paralelamente, haverá eventos paralelos, como o Workshop para Jovens Profissionais e a Sessão Especial sobre “*Concrete Face Rockfill Dams*”.

→ Informações: <http://dw2015.lnec.pt/>

14º Simpósio Brasileiro de Impermeabilização

Com promoção do Instituto Brasileiro de Impermeabilização (IBI), o 14º Simpósio Brasileiro de Impermeabilização vai acontecer de 15 a 17 de julho de 2015, no Espaço APAS, em São Paulo. O evento recebe até 07 de novembro deste ano os resumos dos trabalhos que, se aprovados pela Comissão Técnica, serão apresentados em suas sessões técnicas. Os trabalhos aprovados serão divulgados a partir de 15 de janeiro do próximo ano e os seus autores terão até o dia 21 de fevereiro para enviar o trabalho completo.

As inscrições dos trabalhos devem ser feitas pelo site do sim-

pósio: www.ibibrasil.org.br/simpósio2015. Na página estão disponíveis as normas para envio dos resumos e dos trabalhos finais, bem como os critérios de avaliação a serem adotados pelo comitê científico.

Os melhores trabalhos apresentados durante o simpósio receberão os seguintes prêmios: 1º lugar – R\$ 7.000,00, 2º lugar – R\$ 5.000,00 e 3º lugar – R\$ 3.000,00. Também entrarão na premiação trabalhos nas categorias Menções Honrosas, Prêmio Especial e Trabalhos Acadêmicos (estudantes e professores), com a quantia de R\$ 2.000,00.

consultoria e projetos estruturais



viabilização de tráfego de cargas especiais

recuperação e reforço de edificações



adequação funcional de obras de arte

projetos de obras de arte



soluções de qualidade

www.engeti.eng.br

Avenida angélica, 1996, conj. 404 - Consolação, São Paulo - SP - CEP: 01228-200 Tel: (11) 3666.9289



Conferência Internacional sobre Concreto Estrutural Sustentável

Fórum internacional para cientistas, engenheiros, companhias e construtoras discutirem os avanços, o conhecimento técnico, as pesquisas e inovações para o concreto sustentável sob diversas perspectivas, a Conferência Internacional sobre Concreto Estrutural Sustentável vai acontecer de 15 a 18 de setembro de 2015, na cidade de La Plata, na Argentina.

Promovida pela Associação Argentina de Tecnologia do Con-

creto (AATH), Associação Argentina do Concreto Estrutural (AAHES), Laboratório de Treinamento Multidisciplinar para a Investigação Tecnológica (LEMIT) e União dos Laboratórios e Especialistas em Materiais, Sistemas e Estruturas (RILEM), o evento recebe resumos de trabalhos técnicos até 01 de outubro do ano corrente.

→ Informações: www.sustainconcrete2015.com.ar

14º Congresso Internacional sobre Química do Cimento

O 14º Congresso Internacional sobre Química do Cimento será realizado de 13 a 16 de outubro de 2015, em Pequim, na China, tendo como tema o cimento de baixa emissão de carbono e o

desenvolvimento sustentável no setor. O evento recebe até 30 de setembro deste ano os resumos de trabalhos técnicos.

→ Informações: www.iccc2015beijing.org

Congresso Internacional em Reabilitação de Construções

Com a finalidade de divulgar as melhores estratégias e tecnologias para o setor de reabilitação das construções, com a apresentação de casos práticos da Europa, América e África por especialistas reconhecidos internacionalmente, o Congresso Internacional em Reabilitação de Construções (Conpat 2015) vai

ocorrer em Lisboa, Portugal, de 08 a 10 de setembro de 2015. Promovido pela Alconpat (Associação de Patologia das Construções), o evento recebe até 15 de setembro resumos de trabalhos técnicos.

→ Informações: www.conpat2015.com



GRACE
Talent | Technology | Trust™

· ADITIVOS PARA CIMENTO · ADITIVOS PARA CONCRETO · SISTEMAS PARA IMPERMEABILIZAÇÃO E BARREIRAS DE AR E VAPOR

TEL: (15) 3235-4700 · WEBSITE: WWW.GRACE.COM

Sustentabilidade na Construção Civil

Curso apresenta uma visão sistêmica da sustentabilidade na construção civil, com a introdução do conceito de sustentabilidade, da normalização pertinente e dos sistemas de certificação e a aplicação do conceito de sustentabilidade à construção civil, às estruturas de concreto e aos materiais constituintes do concreto.

Palestrantes: Eng. Paulo Helene (PhD) e Eng^a Íria Doniak (ABCIC)

Data: 8 de outubro

Local: Centro de Convenções de Natal, RN (durante o 56º Congresso Brasileiro do Concreto)

Carga horária: 4 horas

Promoção: IBRACON

→ **Informações:** www.ibracon.org.br

Estruturas pré-fabricadas de concreto

Curso oferece uma visão sistêmica do sistema construtivo com pré-fabricados de concreto: considerações sobre projeto, normalização, logística, controle de qualidade, tecnologia e aplicações.

Palestrantes: Íria Doniak (Abcic) e Carlos Franco (CAL-FAC Consultoria e Engenharia)

Data: 9 de outubro

Local: Centro de Convenções de Natal, RN (durante o 56º Congresso Brasileiro do Concreto)

Carga horária: 8 horas

Promoção: IBRACON

→ **Informações:** www.ibracon.org.br

Pré-fabricados de concreto: uma abordagem completa da fábrica aos canteiros de obras

Curso mostra uma visão sistêmica do processo construtivo com pré-fabricados de concreto: projeto, produção, montagem e suas interfaces, controle de qualidade, normalização, Selo de Excelência Abcic, sustentabilidade e BIM (*Building Information Modeling*).

Palestrante: Carlos Franco (CAL-FAC Consultoria e Engenharia)

Data: 4 de novembro | **Local:** São Paulo-SP

Carga horária: 8 horas

Promoção: Abcic

→ **Informações:** www.abcic.org.br



Paixão por construir

Inovação

A Holcim participa da obra da autoestrada **Arco Metropolitano**, no Rio de Janeiro, com o **Silimax** — um cimento especial, indicado para aplicações onde se necessita de um rigoroso controle de retração, com baixo calor de hidratação e excelente resistência a ambientes extremamente agressivos, bem como aos de elevada acidez.

Serão utilizadas 276 toneladas de Silimax no piso das 10 pontes metálicas, que vão interligar o Porto de Itaguaí ao COMPERJ - Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro.

Com a inovação do Silimax, nossa paixão por construir vai cada vez mais longe.

Elbia Aparecida SILVA MELO

Graduada em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Uberlândia, em 1997, Elbia Melo se interessou pela reestruturação pela qual passava o setor elétrico brasileiro na sua pós-graduação na Universidade Federal de Santa Catarina, de 1999 a 2003.

Iniciou sua carreira na própria Universidade Federal de Santa Catarina, como Professora de Economia e Pesquisadora em Energia. Em 2000, foi convidada para trabalhar na ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), na Superintendência de Estudos de Mercado, onde foi responsável pela inserção dos conceitos de Regulação e Defesa da Concorrência no Setor Elétrico. Em 2001, exerceu a função de Assessora Econômica na Secretaria de Energia do Ministério de Minas e Energia, quando atuou no Comitê de Trabalho da Câmara de Gestão da Crise do Setor Elétrico no Período de 2001-2002. Em 2002, já atuava no Ministério da Fazenda, como Assessora para Assuntos de Energia, mantendo sua atuação na Câmara de Gestão da Crise do Setor Elétrico. De 2003 a 2006, exerceu a função de Economista-Chefe do Ministério de Minas e Energia, quando participou da reforma do Setor Elétrico Brasileiro, da Implementação do Proinfa e outras políticas importantes naquele período. De 2006 a 2011, exerceu o cargo de Diretora da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

Desde setembro de 2011, é presidente da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), instituição privada sem fins lucrativos que representa toda a cadeia da indústria de energia eólica brasileira, com mais de 90 associados, incluindo fabricantes de equipamentos, investidores em parques eólicos, fornecedores de componentes e de serviços.

Esta indústria representa hoje 4% da capacidade instalada da matriz elétrica nacional, com 4,8 GW de potência instalada, e deve alcançar cerca de 14 GW no ano de 2018, o que corresponderá a cerca de 8% da matriz elétrica nacional.



IBRACON – QUE INTERESSES E MOTIVAÇÕES EXPLICAM AS PRINCIPAIS DECISÕES EM SUA CARREIRA PROFISSIONAL, COMO A GRADUAÇÃO EM ECONOMIA, O ASSESSORAMENTO NO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO E A PRESIDÊNCIA DA ABEEÓLICA?

ELBIA MELO – Quanto a escolher o curso de economia, como eu era muito jovem à época, não saberia explicar exatamente o porquê. Na realidade, comecei fazendo engenharia química, mas, por não estar muito feliz com o curso, não sabia exatamente como contribuir com esse tipo de profissão, procurei uma área que tivesse uma relação mais direta com o dia a dia das pessoas, da sociedade em geral, e do contexto político. Assim, me decidi pela economia. Desde o primeiro dia de aula, eu me encontrei, e percebi que era aquilo que queria fazer na vida. Entendo hoje que esta foi a escolha mais acertada de minha vida.

No mestrado, quis estudar um setor de infraestrutura, focando em economia industrial, cujos temas eram os modelos de monopólio e oligopólio. Era 1997, o setor elétrico brasileiro iniciava sua reforma. Quis estudar, do ponto de vista econômico, esta reforma do setor elétrico. Fui a primeira economista a escrever sobre o setor elétrico no Brasil. Já, no doutorado, mantive o interesse no setor elétrico, especializando-me em regulação.

Em 2000, fui convidada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) para trabalhar na área econômica e implementar os conceitos de regulação e defesa da concorrência no âmbito da agência. Devido a algumas mudanças políticas no Ministério de Minas e Energia (MME) com a troca de Ministros e Secretários, fui convidada pelo então Secretário de Energia para exercer a função de Assessora Econômica. Foi exatamente neste período, maio de 2001, que foi Decretado o Programa de Redução de Consumo de Energia e a criação do comitê de Gestão da Crise. Nesta oportunidade, passei a integrar o grupo, no qual permaneci até o final dos trabalhos, que coincidiu com o final do Governo Fernando Henrique, período em que já estava no Ministério da

Fazenda, como Assessora para Assuntos de Energia. No início do Governo Lula, em 2003, fui convidada pela então Ministra de Minas e Energia, Dilma Rousseff, para criar uma Área Econômica no MME e participei ativamente da grande Reforma do Setor Elétrico, que foi implementada em 2004, da regulamentação do Proinfa – Programa de Fontes Alternativas de Energia, que possibilitou as primeiras contratações de energia eólica no país. Trabalhei nos decretos e nas formulações do modelo econômico-financeiro de contratação de energias alternativas (eólica, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa). Em 2006, fui para a Câmara de Comercialização de Energia (CCEE), onde fiquei por cinco anos, como diretora. Em 2011, fui convidada para dirigir a ABEEólica.

IBRACON – QUAIS AS FASES DO PROCESSO LICITATÓRIO DE UM PARQUE EÓLICO? QUAIS OS AGENTES ENVOLVIDOS NO PROCESSO? COMO É A INTERFACE DA PARTE CIVIL (PROJETISTAS E CONSTRUTORAS) NESTE PROCESSO? O PROJETO DE UMA TORRE EÓLICA REQUER APROVAÇÃO/CERTIFICAÇÃO?

ELBIA MELO – Primeiramente, é bom esclarecer que a contratação de energia eólica não é um processo licitatório. A contratação de energia elétrica no Brasil, seja para usinas eólicas, seja para outras formas de geração, é um processo competitivo de leilão. Os agentes envolvidos são, por um lado, os compradores, as concessionárias de distribuição de energia elétrica, e, por outro, os vendedores, grupos de empresas que propõem um projeto de geração de energia, seja de energia eólica, biomassa, PCH (pequenas centrais hidrelétricas), termelétrica, ou outra forma de geração.

As diretrizes gerais do leilão são dadas pelo novo modelo do setor elétrico. Quem organiza o leilão é a Aneel, com respaldo dos estudos feitos pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Finalmente, quem operacionaliza o leilão é a CCEE. O modelo do setor elétrico estabelece que as distribuidoras façam uma declaração de necessidade de contratação de energia para os próximos três ou cinco anos. O

“ A CONTRATAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL, SEJA PARA USINAS EÓLICAS, SEJA PARA OUTRAS FORMAS DE GERAÇÃO, É UM PROCESSO COMPETITIVO DE LEILÃO ”

“ SEUS PROJETOS [DAS EMPRESAS INVESTIDORAS NO SETOR DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA] SÃO HABILITADOS PELA EPE, QUANDO SEGUEM EXIGÊNCIAS FEITAS PARA CADA TIPO DE PROJETO, COMO A LICENÇA AMBIENTAL PRÉVIA E A REGULARIZAÇÃO DO TERRENO QUE SERÁ UTILIZADO ”

leilão acontece num único dia para todas as concessionárias distribuidoras de energia elétrica, quando contratam a necessidade de energia para os períodos indicados. Na modalidade de geração hidrelétrica, termelétrica e nuclear, o leilão é o do tipo A-5, no qual se contrata a energia agora para daqui a cinco anos, porque se gasta este tempo para se construir as usinas. Para as demais – biomassa, PCH, eólica e solar –, o leilão é do tipo A-3, como o que vai acontecer agora em outubro, no qual se contrata a energia três anos antes de seu fornecimento.

Os grupos vendedores são formados, anteriormente ao leilão, por empresas investidoras no setor elétrico. Em geral, as mesmas empresas que investem no setor hidrelétrico, também investem no setor eólico. No entanto,

algumas empresas surgiram especificamente no contexto das fontes renováveis não convencionais de energia. Como as PCHs e biomassa não são ainda competitivas, esses investidores estão redirecionando seus recursos mais para as eólicas no momento. Mas, aparecendo nova oportunidade de investimento de geração em outras fontes de energia, como a solar, os investimentos ocorrerão. Como empresas investidoras no setor de geração de energia elétrica, podemos citar a CPFL, o grupo Tractebel, o grupo Eletrobrás, o grupo EDP, o grupo Iberdrola, Voltalia, Enel Green Power, etc. Seus projetos são habilitados pela EPE, quando seguem exigências feitas para cada tipo de projeto, como a Licença Ambiental Prévia e a regularização do terreno que será utilizado.

CHESP



Parque Eólico de Casa Nova

No leilão, vence o grupo que fornecer a energia pelo menor preço. A concessionária de energia elétrica assina o contrato com o gerador ganhador do leilão, com vigência de 20 anos.

IBRACON – OS FABRICANTES DE AEROGERADORES NÃO PARTICIPAM DO LEILÃO, COMO VENDEDORES?

ELBIA MELO – Apenas a Wobben, empresa de aerogerador mais antiga no Brasil, que fica em Sorocaba, tem modelo de negócios de participação nesses leilões, entrando com 10% dos investimentos nos projetos de parques eólicos. Empresa alemã instalada no país em 1997, ela se responsabiliza por todo o projeto, a construção da torre e o aerogerador, inclusive sua operação e manutenção (OM) por vinte anos. Destaque-se que a Wobben é pioneira na fabricação de torre de concreto no Brasil, produzindo sua própria torre.

IBRACON – SEGUNDO O BOLETIM DA ABEEÓLICA DE JUNHO DESTA ANO, OS PARQUES EÓLICOS INSTALADOS NO PAÍS SOMAM 186, ENTRE OS OPERANDO COMERCIALMENTE, OPERANDO EM TESTE E APTOS A OPERAR, CONCENTRADOS NO NORDESTE E NO SUL. QUAL É A CAPACIDADE INSTALADA DESSES PARQUES? NELES PREDOMINAM AS TORRES METÁLICAS OU DE CONCRETO? O QUE LEVA À DEFINIÇÃO DE UM PROJETO POR TORRES METÁLICAS OU DE CONCRETO?

ELBIA MELO – Cada parque tem capacidade instalada de 30MW, por conta do modelo do setor, dos lucros presumíveis e dos incentivos concedidos ao setor. Dessa forma, os 186 parques totalizam 4,7GW instalados.

Quanto à participação das torres de concreto em relação às torres metálicas nesses parques, ela é menor, mas com uma boa participação. Os fatores que levam à decisão quanto a um sistema ou outro são três: a altura da torre, a disponibilidade de água na região e o preço. Como os maiores potenciais eólicos ficam no interior da Bahia e do Rio Grande do Norte, onde a água é um recurso escasso, este é um fator importante. Destaque-se que a torre de aço

está ficando muito cara, porque o BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) está exigindo conteúdo nacional e o aço brasileiro é da ordem de 30% mais caro do que o europeu. Mantendo-se essa tendência, é possível que aumente a quantidade de torres de concreto. Mas, por outro lado, existe uma resistência do setor em relação à torre de concreto, em razão do descomissionamento do parque eólico. Decorridos os 20 anos, o parque tem que ser desfeito, descomissionado, mas o setor do concreto não vem divulgando ou apresentando respostas para o que fazer com as torres de concreto desses parques. A torre de aço é fácil de se desmontar e destinar suas peças para outro uso, mas a de concreto, ainda não.

IBRACON – NÃO EXISTE A POSSIBILIDADE DE APROVEITAMENTO DESSAS TORRES COM A REINSTALAÇÃO DE NOVOS AEROGERADORES?

ELBIA MELO – Não se sabe ainda, até porque a indústria eólica é muito nova no mundo. Não tivemos ainda a experiência do descomissionamento de um parque eólico no mundo. Um fator importante é que a tecnologia dos aerogeradores muda muito rapidamente, com o Brasil acompanhando essa tecnologia de ponta. Há quatro anos, uma torre tinha 50 m de altura. Hoje, temos torres de 120 a 150 m de altura. Como se tem uma mudança tecnológica intensa, não é possível vislumbrar que, daqui a 20 anos, será possível reaproveitar a torre de concreto.

IBRACON – NO MESMO BOLETIM, AFIRMA-SE QUE OS PARQUES EM CONSTRUÇÃO E CONTRATADOS SOMAM 371. QUAL É A PREVISÃO DE CONCLUSÃO DA CONSTRUÇÃO DESSES PARQUES? QUAL SERÁ O MONTANTE DA CAPACIDADE INSTALADA QUE SERÁ AGREGADA À MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA? COMO FICA A QUESTÃO DA ESCOLHA DO TIPO DE MATERIAL DAS TORRES NESES PARQUES?

ELBIA MELO – De tudo que foi contratado de 2009 para cá,

“ UM FATOR IMPORTANTE É QUE A TECNOLOGIA DOS AEROGERADORES MUDA MUITO RAPIDAMENTE, COM O BRASIL ACOMPANHANDO ESSA TECNOLOGIA DE PONTA ”

*ATUALMENTE FIB (FEDERAÇÃO INTERNACIONAL DO BETÃO)

“ OS AEROGERADORES TÊM UMA POTÊNCIA MÉDIA DE 2,3 MW, PODENDO CHEGAR A 3 MW, COM TAMANHO MÉDIO DAS PÁS DE 48M, PODENDO CHEGAR A 62M ”

com o primeiro leilão competitivo de energia eólica, vamos chegar, em 2018, a 14,2 GW de energia eólica, cerca de 8% da matriz elétrica nacional.

A Wobben, especializada em torres de concreto, diminuiu sua participação nesses leilões. Eu vejo que, talvez, falte um pouco mais de trabalho do segmento das torres de concreto para garantir maior fatia de mercado no setor eólico.

IBRACON – QUAIS MEDIDAS A CADEIA DO CONCRETO PODERIA TOMAR PARA GANHAR MAIOR PARTICIPAÇÃO NO MERCADO DA ENERGIA EÓLICA?

ELBIA MELO – Em primeiro lugar, teria que haver mais oferta de fábricas de torres de concreto. Creio que, neste momento, estão sendo inauguradas mais duas fábricas de torres de concreto no país.

Em segundo lugar, fazer um trabalho mais apurado junto aos fornecedores de aerogeradores, para persuadi-los a substituir as torres de aço pelas de concreto. Temos 9 fabricantes de torres no Brasil, dos quais apenas dois – a Wobben e a Web – são especializados na construção de torres de concreto.

IBRACON – QUAL A CAPACIDADE DO AEROGERADOR E O TAMANHO DE SUAS PÁS QUE DEVERÃO MELHOR ATENDER O MERCADO NACIONAL?

ELBIA MELO – Hoje, nos parques que devem estar prontos até o final do ano, os aerogeradores têm uma potência média de 2,3MW, podendo chegar até 3MW, com tamanho médio das pás de 48 m, podendo chegar a 62 m (como os da Alstom), e com peso que varia de 9t a 15t. A altura das torres gira em torno de 100 m.

IBRACON – A ABEEÓLICA PARTICIPA OU TEM INTERESSE EM PARTICIPAR DE DISCUSSÕES TÉCNICAS NO ÂMBITO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) COM VISTAS A ESTABELECEER UMA REFERÊNCIA NORMATIVA A FIM DE POSSIBILITAR A CERTIFICAÇÃO

DO PROJETO PARA CONSTRUÇÃO DE TORRES EÓLICAS DE CONCRETO NO PAÍS?

ELBIA MELO – Não participamos. Em geral, quem participa dessas discussões são as próprias empresas do setor. A ABEEólica atua em prol dos interesses e das necessidades dos seus associados, que são as empresas atuantes no setor eólico. Caso identificarmos, em conjunto, a necessidade de participar das discussões de forma ativa, a ABEEólica certamente fará parte.

IBRACON – QUAIS AS PRINCIPAIS LINHAS DE PESQUISA E OS RESULTADOS JÁ ALCANÇADOS PELA REDE BRASILEIRA DE INOVAÇÃO EM ENERGIA EÓLICA? QUEM PARTICIPA DESSA REDE?



Elbia Melo na sede de ABEEólica

ELBIA MELO – A Rede Brasileira de Inovação em Energia Eólica é um projeto que deve ser implementado no segundo semestre. Seu objetivo é fazer pesquisa, desenvolvimento, inovação e capacitação de mão de obra para o setor. Quem vai participar da Rede são as empresas associadas à ABEEólica, os demandantes da pesquisa, as instituições de ensino, pesquisa e capacitação, que serão os oferecedores, e uma terceira parte formada pelas agências financiadoras de pesquisa.

A ideia é montar uma plataforma eletrônica, reunindo as informações desses três segmentos, com projetos tratando de temas associados à inovação tecnológica dos equipamentos eólicos e ao treinamento de mão de obra para operação e manutenção dos parques eólicos. Como a tecnologia dos aerogeradores é nova e muda muito rapidamente (a cada dois anos em média), então, a ideia é que se faça inovação dos aerogeradores associada às características do Brasil. Os equipamentos eólicos que estão sendo produzidos foram formatados na Europa e nos Estados Unidos, obedecendo a características de clima, temperatura e ventos diferentes das nossas. A ideia é buscar desenvolver aerogeradores mais adaptados às condições de vento, temperatura e clima do Brasil.

IBRACON – TENDO EM CONTA UMA CAPACIDADE INSTALADA QUE ATINGIU 46GW EM MAIO DE 2014, POR QUE A ENERGIA EÓLICA FOI RESPONSÁVEL APENAS PELA GERAÇÃO MÉDIA DE 756MW EM MARÇO DESTE ANO? QUAIS OS PRINCIPAIS DESAFIOS A SEREM ENFRENTADOS PELO SETOR EÓLICO PARA GARANTIR UMA MAIOR PARTICIPAÇÃO NA MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL?

ELBIA MELO – A participação razoavelmente baixa da energia eólica na matriz energética brasileira se deve ao fato de que os investimentos começaram ontem. Em 2009, aconteceu o primeiro leilão do tipo A-3. O primeiro parque entrou em operação em 2012. A baixa participação hoje se explica porque os investimentos começaram há três anos. No entanto, os investimentos em eólica estão acontecendo de forma exponencial. De 2009 para cá, foram contratados

mais de 13GW. O último parque a entrar em operação nesta contratação será inaugurado em 2018.

O dado de geração precisa ser revisto, porque, em julho, a eólica gerou 1400MW médios. Essa diferença de capacidade instalada e geração é porque alguns parques estão sem linhas de transmissão. Boa parte dos parques entrou em operação no mês passado. Mas, existe, cerca de 800MW que estão sem linhas. Por isso, dos 4,7GW desconta-se 800MW, indo para 3,9GW. Até o final do ano a previsão é que esses parques comecem a distribuir a energia.

IBRACON – EXISTE A POSSIBILIDADE DO BNDES FINANCIAR AS EMPRESAS LIGADAS AOS PROJETOS DE CONSTRUÇÃO DE TORRES DE CONCRETO?

ELBIA MELO – Sim. Ele já financia. Por meio do Finame e pela área de bens de capital.

IBRACON – SEGUNDO ÍNDICE DO BOLETIM DE JUNHO DESTE ANO, A GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO PERÍODO DE MARÇO DE 2013 A MARÇO DE 2014 EVITOU A EMISSÃO DE CERCA DE 1,8 MILHÃO DE TONELADAS DE CO2. COMO É OBTIDO ESTE ÍNDICE? A ABEEÓLICA PRETENDE, COM A METODOLOGIA, PARTICIPAR DO MERCADO DE CARBONO? DE QUE FORMA?

ELBIA MELO – Este índice é obtido por uma metodologia do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCTI). Os parques eólicos já buscam os créditos de carbono. Já no decreto do Proinfa se estabeleceu a participação dos parques eólicos no mercado de créditos de carbono. Qualquer empreendimento de energia eólica pode entrar junto ao MCTI para participar do mercado desses créditos.

IBRACON – O QUE VOCÊ FAZ EM SEU TEMPO LIVRE? QUAIS SEUS HOBBIES?

ELBIA MELO – Corrida, yoga, culinária, viagem, livro e cinema. O difícil é ter tempo livre! Por isso escolhi a corrida e a Yoga, pois ambos faço sozinha, carrego o tênis na mala e tudo ok. ●

“ A REDE BRASILEIRA DE INOVAÇÃO EM ENERGIA EÓLICA TEM O OBJETIVO DE FAZER PESQUISA, DESENVOLVIMENTO, INOVAÇÃO E CAPACITAÇÃO DE MÃO DE OBRA PARA O SETOR ”

Durabilidade do concreto

Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente

Editores: Jean-Pierre Ollivier e Angélique Vichot
1ª edição em português | 2014

Esforço conjunto de 30 autores franceses na produção de uma das obras mais completas do mundo sobre durabilidade do concreto.

Enriquecida com adaptação à realidade técnica e profissional brasileira, a obra se revela de grande importância e de destacado potencial para a engenharia nacional.

Editada em português pelo IBRACON, o livro será lançado no 56º Congresso Brasileiro do Concreto, em Natal – RN.



TÓPICOS ABORDADOS

- Concreto e o desenvolvimento sustentável
- Hidratação dos cimentos
- Estrutura porosa dos concretos e propriedades associadas aos mecanismos de transporte
- Estabilidade química dos produtos de hidratação do cimento e o transporte reativo no interior dos concretos
- Retração e fluência
- O controle da fissuração nas primeiras idades: condição para durabilidade das obras em concreto
- A durabilidade no contexto da normalização europeia
- Durabilidade dos concretos com a abordagem de desempenho
- Durabilidade das armaduras e do concreto e cobrimento
- Durabilidade dos concretos frente às reações expansivas endógenas
- Durabilidade dos concretos em ambientes quimicamente agressivos
- Durabilidade dos concretos frente aos incêndios
- Durabilidade dos concretos produzidos com cimentos aluminosos

COORDENADOR DA EDIÇÃO

- Oswaldo Cascudo e Helena Carasek
Universidade Federal de Goiás

TRADUTORES

- Arnaldo Carneiro - UFPE
- Cristiane Pauletti - UFRS
- Geraldo Isaia - UFSM
- Geraldo de F. Maciel - UNESP
- Helena Carasek - UFG
- Maria Alba Cincotto - USP
- Mônica P. Barbosa - UNESP
- Oswaldo Cascudo - UFG
- Pedro Kopschitz Bastos - UFJF
- Valdecir Quarcione - IPT

Patrocinador



produtos
quartzolit

Evolução histórica, desenvolvimento atual e potencial futuro das torres de concreto pré-moldado para suporte de aerogeradores

CARLOS CHASTRE – PROFESSOR DOUTOR
VÁLTER LÚCIO – PROFESSOR DOUTOR
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA, PORTUGAL

1. INTRODUÇÃO

O vento é causado por diferenças na pressão atmosférica, geradas pelo aquecimento desigual da superfície da Terra. A energia do vento é uma fonte renovável de energia e tem sido aproveitada desde tempos imemoriais para mover os barcos, moer os cereais, bombear água ou colocar maquinaria em funcionamento. Por volta de 5000 a.C., já havia barcos à vela no Rio Nilo e, durante os séculos XV e XVI, os portugueses navegaram ao redor do mundo, da Europa ao Brasil (1500), contornaram a África para chegar à Índia (1498) e ao Japão (1543), com a ajuda de vento (Figura 1).

Em 200 a.C., há registo de existirem moinhos simples de vento na China para bombagem de água e moinhos de vento de eixo vertical com velas para moer cereais na Pérsia e no Oriente Médio. Novas formas de usar a energia do vento foram-se espalhando pelo mundo. Por volta do século XI, no Oriente Médio, os moinhos de vento foram amplamente utilizados para a produção de alimentos e, certamente, os mercadores e os cruzados levaram esta ideia para a Europa (Figura 2). Os holandeses redesenharam os moinhos de vento e adaptaram-



Figura 1 – Réplica da caravela Vera Cruz
(fonte: NRP Sagres)



a Referido em manuscrito medieval, datado de 1340



b Pintura medieval holandesa

Figura 2 – Moinhos de vento

-nos para drenar lagos e pântanos no delta do rio Reno (Figura 3).

Os colonizadores levaram esta tecnologia para o Novo Mundo e, no final do século XIX, começaram a usar moinhos de vento para bombear água para fazendas e ranchos (Figura 4) e, posteriormente, para gerar eletricidade para residências e indústrias.

A industrialização, primeiro na Europa e depois nos Estados Unidos, levou a um declínio gradual no uso de moinhos de vento. Na Europa, os motores a vapor substituíram os moinhos de vento para bombear água.

Na década de 1930, os programas de eletrificação rural levaram a energia elétrica de baixo custo para a maioria das áreas rurais nos Estados Unidos. No entanto,

a industrialização também provocou o desenvolvimento de grandes moinhos de vento para gerar eletricidade. Os primeiros aerogeradores apareceram na Dinamarca por volta de 1890.

A popularidade da energia eólica tem oscilado com o preço dos combustíveis fósseis. Quando o preço dos combustíveis caiu após a Segunda Guerra Mundial, o interesse nos aerogeradores diminuiu. Mas, quando o preço do petróleo disparou em 1970, o interesse mundial nos geradores de turbinas eólicas aumentou significativamente. A seguir ao embargo do petróleo na década de 1970, a investigação e desenvolvimento em aerogeradores permitiram refinar velhas ideias e introduzir novas formas de converter energia eólica em energia útil.



a Holanda



b Warwickshire, Inglaterra

Figura 3 – Moinhos de vento na Europa (Wikimedia commons)

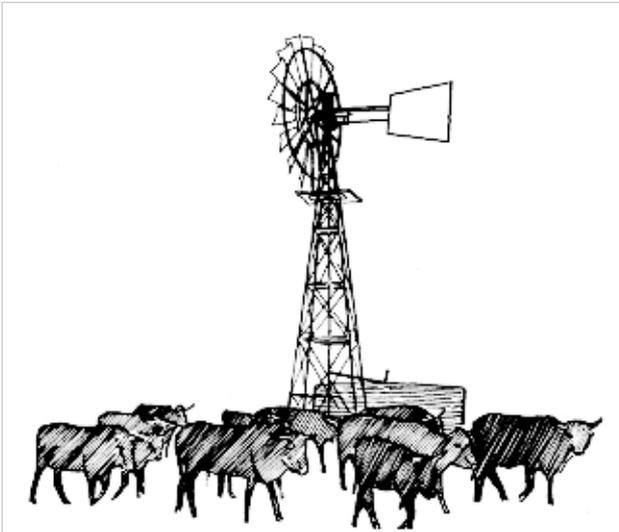


Figura 4 – Moinho de vento para bombear água

Muitas dessas abordagens têm sido demonstradas em parques eólicos em *onshore* e *offshore* em todo o mundo (Figura 5).

2. O MERCADO ATUAL DA ENERGIA EÓLICA

Hoje em dia, com a experiência de mais de duas décadas de exploração de parques eólicos, juntamente com a investigação e desenvolvimento no setor, o custo da eletricidade gerada pelo vento é muito próximo do custo de produção da energia convencional. A energia eólica é a fonte de energia que mais cresceu no mundo, proporcionando à indústria, ao comércio e às residências, energia limpa e renovável. Como exemplo, veja-se o caso português, em que o vento já é a fonte de cerca de 40% da energia consumida, e as energias renováveis (incluindo a energia eólica e hidráulica) foram cerca de 60%

da energia elétrica consumida em dezembro de 2013 (Figura 6).

A evolução da capacidade de produção de energia eólica no mundo é altamente positiva (Figura 7). Em 2012, o aumento foi de cerca de 19% em relação a 2011 [02]. Os 10 países que mais contribuíram para o aumento mundial da capacidade de produção de energia eólica (Figura 8) são responsáveis por 85% desse aumento [02].

O crescimento mais significativo de 2012 ocorreu na América Latina, nomeadamente no Brasil, onde houve um aumento de 1.1GW de nova capacidade de potência instalada [02]. Este aumento é uma resposta ao crescimento da procura de energia elétrica, devido ao atual crescimento econômico do Brasil. No entanto, este aumento não foi suficiente para colocar o Brasil no clube “top dez” em 2013.

Tendo em conta esta tendência, a energia eólica poderá ser uma área promissora de negócios no que diz respeito à construção de torres em concreto pré-moldado para suporte de aerogeradores.

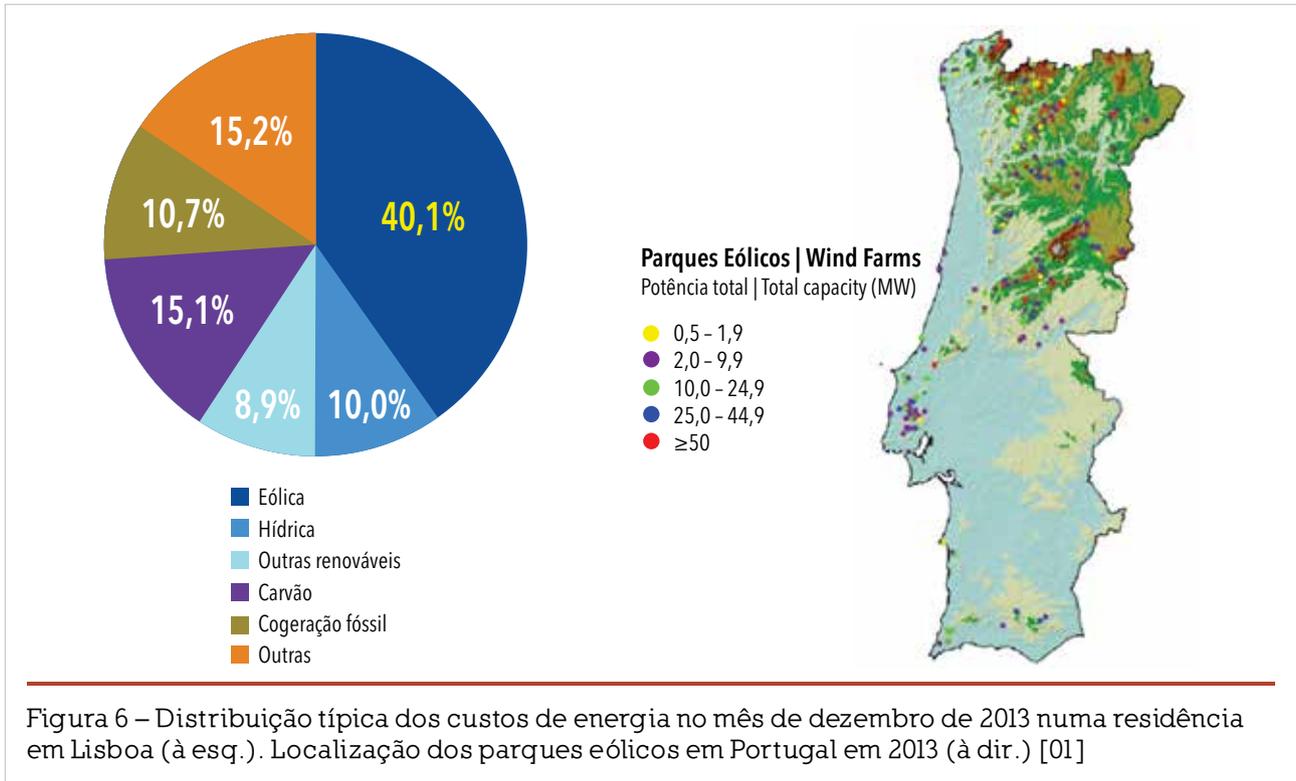
3. O POTENCIAL DA ENERGIA EÓLICA NO MUNDO E NO BRASIL

Em termos globais existem algumas informações baseadas em dados de satélite da NASA (SWERA – Solar and Wind Energy Resource Assessment) que permitem, de uma forma aproximada, estimar e classificar o potencial da energia eólica no mundo. Esta classificação de 1 a 7, apresentada pela SWERA, está representada na Figura 9 e permite identificar algumas das zonas mais interessantes para aproveitamento do potencial da energia eólica a 50 m de altura.

A título de exemplo, apresentam-se, na Figura 10, as estimativas dos ventos oceânicos em 1/1/2011 e



Figura 5 – Parque eólico na serra da Lousã, Portugal (Wikimedia commons)

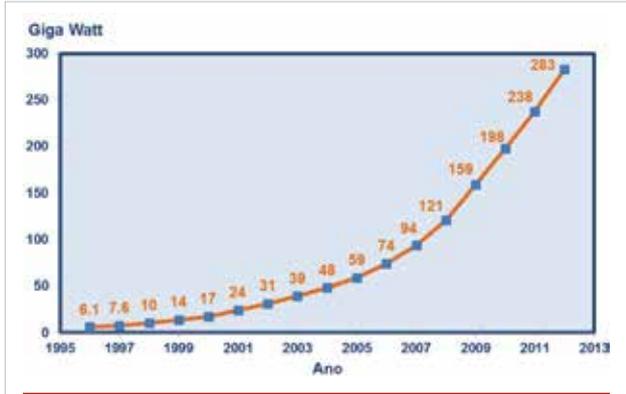


25/6/2011 baseadas em dados recolhidos pelo satélite NASA QuikSCAT (Remote Sensing Systems - Estimativas dos ventos oceânicos em 1/1/2011 e 25/6/2011 baseados em dados recolhidos pelo satélite NASA QuikSCAT.).

Diversos estudos consultados [03, 04] apontam que o potencial eólico brasileiro se situa acima de 60 Gigawatts. Os primeiros estudos foram realizados na região Nordeste (Ceará e Pernambuco), com o apoio de diversas entidades brasileiras (ANEEL, MCT e da CBEE da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE), que publicou em 1998 a 1ª edição do Atlas Eólico da Região Nordeste. A continuidade

desse trabalho resultou no Panorama do Potencial Eólico no Brasil, representado na Figura 11 [04]. O Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - CRESESB/CEPEL publicou um estudo, em 2001, [03] que estima o potencial eólico brasileiro na ordem de 143 Gigawatts.

Os dados apresentados na Figura 11 são retirados do Atlas de Energia Eólica do Brasil [04] e referem-se à velo-



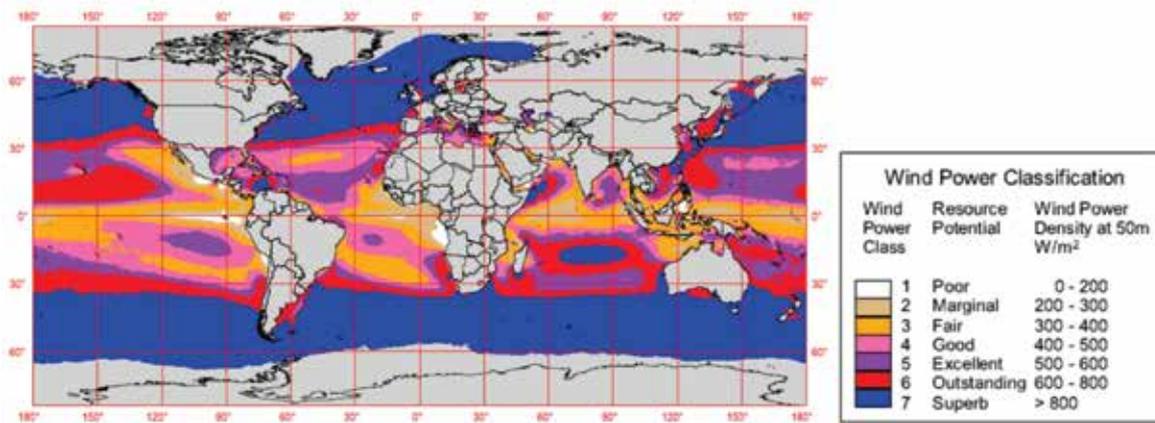


Figura 9 – Classificação do potencial de energia eólica no mundo de acordo com SWERA

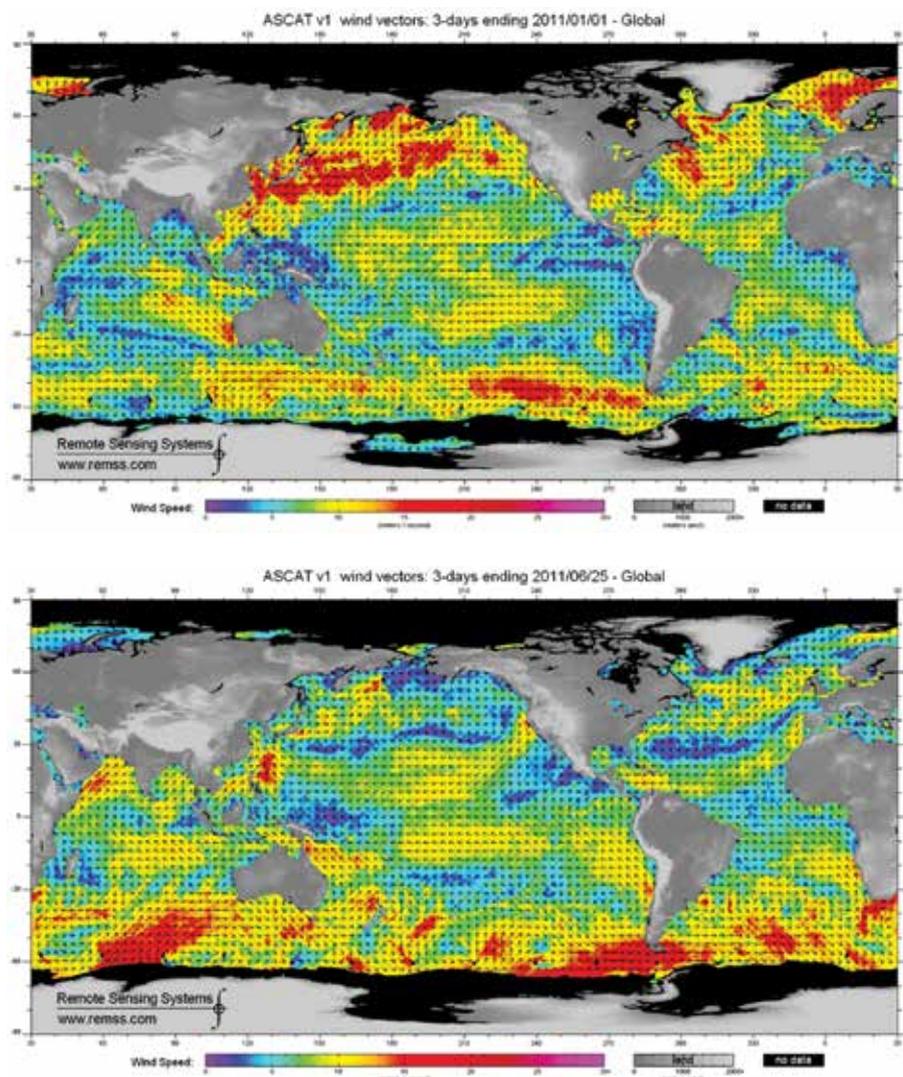


Figura 10 – Estimativas dos ventos oceânicos em 1/1/2011 e 25/6/2011, satélite NASA QuikSCAT

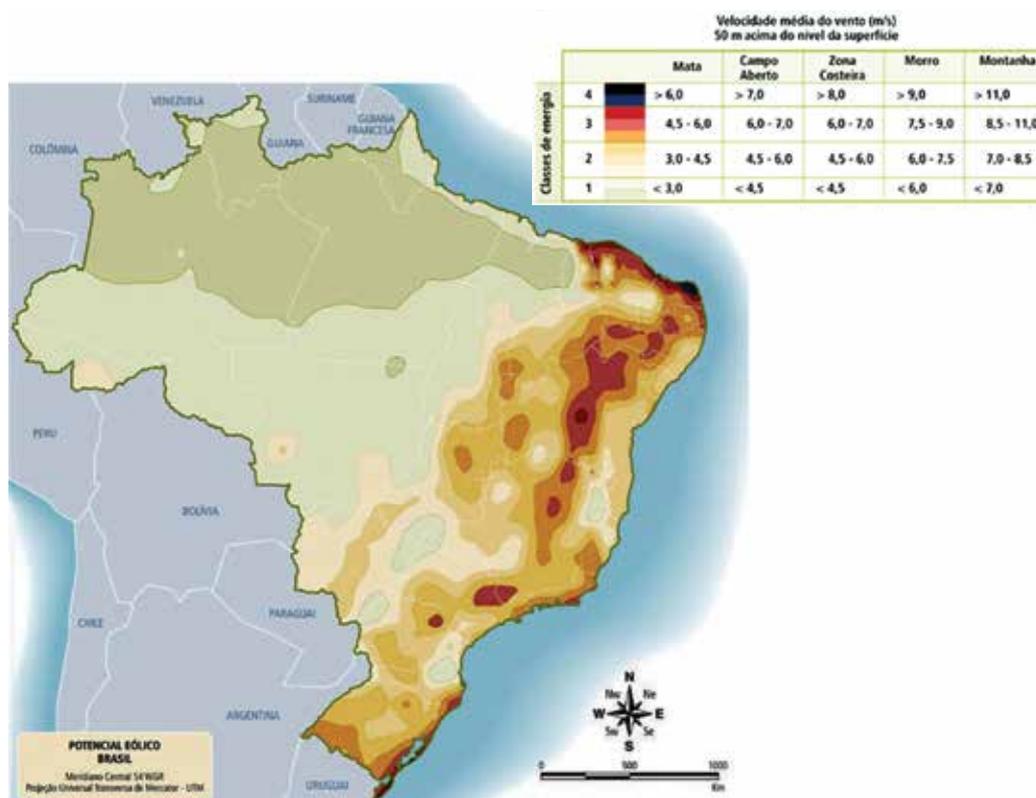


Figura 11 – Velocidade anual média do vento a 50m de altura [04]

cidade média do vento e energia eólica média a uma altura de 50m acima da superfície para 5 condições topográficas distintas, definidas como: zona costeira – áreas de praia, normalmente com larga faixa de areia, onde o vento incide predominantemente do sentido mar-terra; campo aberto – áreas planas de pastagens, plantações e /ou vegetação baixa, sem muitas árvores altas; mata – áreas de vegetação nativa, com arbustos e árvores altas, mas de baixa densidade, tipo de terreno que causa mais obstruções ao fluxo de vento; morro – áreas de relevo levemente ondulado, relativamente complexo, com pouca vegetação ou pasto; montanha – áreas de relevo complexo com altas montanhas.

Observando o quadro da Figura 11, verifica-se que as zonas classificadas como de classe 1 são regiões que apresentam um baixo potencial eólico, enquanto as zonas de classe 4 correspondem às zonas com melhores locais para aproveitamento do potencial eólico no Brasil.

4. SOLUÇÕES ESTRUTURAIS PARA SUPORTE DE AEROGERADORES

Ao longo dos tempos, os moinhos de vento come-

çaram por ser construídos em madeira ou em alvenaria de pedra (Figuras 2 e 3); com a revolução industrial, apareceram as primeiras estruturas treliçadas metálicas (Figura 4); e, só no século XXI, o concreto armado aparece como material alternativo às torres de aço. Durante o século XX, foram propostas diversas soluções estruturais e métodos construtivos para torres,



Figura 12 – Fundações (*onshore*) de grandes dimensões sobre as quais será colocado a torre tubular para suportar o aerogerador



Figura 13 – Fundações flutuante da EDP a utilizar em águas profundas

de modo a suportar geradores eólicos a grande altura. São soluções correntes os mastros espiados, cascas metálicas, estruturas com perfis de aço, torres com estruturas em parede de concreto betonada no local ou pré-moldada, torres híbridas de concreto e cascas metálicas, até torres com materiais compósitos.

As principais ações a considerar na estrutura são: i) as forças do vento nas pás da turbina e na própria estrutura; ii) o peso da turbina e o peso próprio da estrutura; iii) os efeitos dinâmicos do vento e dos equipamentos; iv) as ações sísmicas; e v) o efeito das correntes e das marés, no caso de estruturas *offshore*.

As fundações, normalmente de grandes dimensões, dependem obviamente do local onde se pretende implementar o parque eólico. Se for em *onshore*, podem-se ter fundações como as mostradas na Figura 12, para o caso



Figura 14 – Fundação de gravidade em concreto pré-moldado para águas pouco profundas. A torre é montada no topo [05]

de torres com a estrutura tubular e, de menores dimensões, por poderem ser individuais, no caso de se tratar de estruturas treliçadas.

Atualmente, as soluções existentes para *offshore* são bastantes dispendiosas e dividem-se entre as flutuantes, utilizadas em águas profundas (Figura 13), e as utilizadas em águas pouco profundas e que funcionam por gravidade, como as fundações em caixão ou as fundações em cálice pré-moldado em concreto (Figura 14). Existem outras soluções, como as que recorrem a estacas, as que têm forma de tripé ou as treliçadas.

Para o suporte de geradores eólicos, têm sido utilizadas, em especial, as torres em aço com anéis cilíndricos ou tronco-cônicos, montados no local e fixados à fundação de concreto armado através de chumbadores e, entre si, através de parafusos.

As expectativas para o futuro da energia eólica passam pelo desenvolvimento de turbinas cada vez mais potentes (superiores a 6MW), com o conseqüente aumento da altura das torres. A evolução nos últimos anos da potência das turbinas, com o inerente aumento do diâmetro das pás, tem levado a um aumento significativo da altura das torres. Na Figura 15, pode-se constatar que, em 1990, as turbinas permitiam produzir 500kW, com um diâmetro das pás de 40m e uma altura das torres de 54m; em 2000, a capacidade das turbinas alcançou os 2000kW, com um diâmetro das pás de 80m, atingindo-se, em 2005, turbinas com 5MW para um diâmetro das pás de 124m e uma altura das torres de 114m [06].

A necessidade de aumentar a altura das torres, com o conseqüente aumento do diâmetro e da espes-

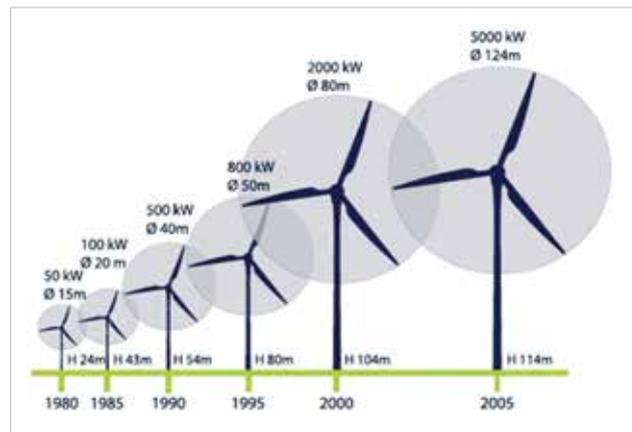


Figura 15 – Evolução da altura das torres com a potência das turbinas

sura das paredes, assim como da quantidade de aço, tem encontrado crescentes limitações à utilização das torres em aço, quer pelo custo do aço, cujo preço tem grandes flutuações no mercado, quer pelas limitações de produção e transporte relacionados com o tamanho dos anéis necessários nas torres com altura superior a oitenta metros.

Face a estes novos limites, algumas das características das torres em aço perdem as vantagens referidas, designadamente: o diâmetro máximo da base da torre, por questões de transporte, não pode exceder os 4,30 metros, o que representa um obstáculo insuperável para o aumento da altura da torre; com o aumento da altura da torre e face às limitações dimensionais referidas, as torres metálicas tornam-se estruturalmente mais sensíveis a fenómenos de fadiga, de instabilidade, de flexibilidade e de deficiente comportamento dinâmico para a ação do vento e para as ações dos sismos, por reduzida ductilidade do seu comportamento [07, 08], para além da exigência de fundações mais pesadas.

Apesar de terem evoluído para alturas ligeiramente superiores às torres de aço, as torres de concreto com anéis ou pré-moldadas continuam limitadas pelo diâmetro máximo da base da torre (Figura 16) e necessitam, para a sua montagem, de gruas extremamente altas. As torres com paredes de concreto betonadas no local apresentam a desvantagem de o processo construtivo ser bastante demorado, situação que onera bastante o custo final da torre. Atendendo às expectativas futuras para o desenvolvimento da energia eólica em *onshore* e *offshore*, constata-se que o mercado necessita de torres eólicas cada vez maiores e que as soluções existentes no

mercado não resolvem completamente esta necessidade.

Para responder a este importante nicho de mercado, concebeu-se uma torre treliçada pré-moldada em concreto armado (Figura 17) [09]. Esta solução de torre permite uma montagem rápida e de fácil transporte.

A torre treliçada é composta por elementos pré-moldados e pretende ser uma solução alternativa para torres de mais de 80 m de altura e competitiva em termos económicos. As pequenas dimensões dos elementos pré-moldados não necessitam de transporte especial e proporcionam a liberdade de escolha da geometria da torre (diferente número de colunas e diferentes espaçamentos entre elas, etc.), com vista a otimizar a capacidade de carga e o controle da frequência natural de vibração. A solução apresenta também reduções no custo das fundações. Os autores submeteram uma patente em Portugal e no Brasil, e, em 2009, esta solução ganhou um Prémio de Inovação BES.

5. TORRES PRÉ-MOLDADAS EM CONCRETO PARA SUPORTE DE GERADORES EÓLICOS

As torres construídas com concreto pré-moldado podem ser constituídas por:

- i) anéis pré-moldados com juntas horizontais e, geralmente, protendidos verticalmente (Figuras 18 a 20);
- ii) meios anéis na base e anéis no topo, com juntas verticais e horizontais e, geralmente, protendidos verticalmente (Figuras 21 e 22);
- iii) aduelas planas nas faces laterais e curvas nos cantos, sendo a dimensão vertical dos elementos a mais longa, com protensão no interior (Figura 23);
- iv) estrutura treliçada de elementos pré-moldados



Figura 16 – Torre em concreto pré-moldado para suporte de um aerogerador (à esquerda) (Wikimedia commons); Anéis pré-moldados típicos deste tipo de estrutura (à direita, fonte: ENERCON)



Figura 17 – Torre treliçada pré-moldada em concreto armado desenvolvida pelos autores para *onshore* (à esquerda) e *offshore* (à direita)

e pré-esforçados ligados em conjunto (Figuras 17 e 24).

Existem sistemas que utilizam meios anéis semicirculares na base das torres de grande diâmetro, no sentido de ter elementos pré-moldados menores para simplificar o transporte. Nas Figuras de 18 a 22, mostram-se alguns pormenores de ligações entre os anéis, nas juntas verticais e horizontais, para estruturas tubulares pré-moldadas de concreto para suporte de geradores eólicos. Na Figura 23 mostra-se a torre híbrida em concreto pré-moldado e aço. Na Figura 17 mostra-se a torre treliçada pré-moldada



Figura 18 – Anéis pré-moldados com juntas horizontais (fonte: Enercon)

em concreto armado para onshore e offshore e, na Figura 24, mostra-se um pormenor desta torre treliçada.

As soluções estruturais em concreto pré-moldado para suporte de aerogeradores têm vantagens indiscutíveis em relação às soluções de aço:

- Capacidade para atingir grandes alturas e suportar aerogeradores de grandes dimensões, quer onshore, quer *offshore*;
- Melhoria do comportamento dinâmico, reduzindo a fadiga, aumentando a vida útil do equipamento e reduzindo a manutenção;
- Ligações estruturais fiáveis, testadas, sem manutenção, proporcionando uma montagem rápida e as vantagens do monolitismo estrutural;
- Excelente resposta às ações sísmicas, graças à elevada ductilidade e amortecimento estrutural, contrastando com as torres de aço;
- Menor necessidade de manutenção em contraste com as torres aço, especialmente em ambiente *offshore*;
- Maior durabilidade destas estruturas de concreto em relação às torres de aço, em particular em ambientes marinhos;
- Menor ruído gerado pelo efeito de amortecimento do concreto;
- Redução das emissões de CO₂ na fabricação da torre (entre 55 e 65% das emissões envolvidas na fabricação de uma torre de aço);
- O material das torres é totalmente reciclável;
- A durabilidade do concreto das torres é muito mais



Figura 19 – Anéis pré-moldados de concreto com a porta na base da torre (fonte: Enercon)



Figura 20 – Ligações horizontais entre dois anéis pré-moldados de concreto (fonte: Enercon)

elevada que a dos aerogeradores (permitindo a futura substituição dos aerogeradores por outros de maior potência, multiplicando as possibilidades de amortização do custo da obra e da infraestrutura



Figura 21 – Anéis semicirculares pré-moldados em concreto na base da torre, com juntas verticais e horizontais



Figura 22 – Detalhe de uma junta vertical

de transporte de energia, especialmente onerosa em *offshore*).

6. CONCLUSÕES

Os suportes dos geradores de energia eólica podem ser construídos com elementos de concreto pré-moldado com grandes vantagens em relação às soluções tradicionais, seja para parques eólicos *onshore* ou *offshore*.

As principais vantagens das torres de concreto pré-moldado, em relação às estruturas de aço tradicionais, são a capacidade de atingir maiores alturas, com



Figura 23 – Solução ATS - torre híbrida em concreto pré-moldado e aço (à esquerda) e montagem (à direita) [10, 11]

melhor comportamento dinâmico e fundações mais econômicas, bem como a menor necessidade de manutenção, especialmente em ambiente *offshore*.

O Brasil, através da ABCIC, está representado no grupo de trabalho 6.14 da *fib* (Federação Internacional do Concreto), cujo objetivo é a produção de um *bulletin* com o estado da arte sobre estruturas pré-moldadas de concreto para suporte de aerogeradores [13, 14]. No âmbito de um projeto de investigação sobre estruturas treliçadas em concreto pré-moldado para *onshore* e *offshore* [09, 12], em curso na Universidade NOVA de Lisboa, dois professores brasileiros, um da Universidade Federal Tecnológica do Paraná e um da Universidade Estadual de Londrina, estão a colaborar neste projeto na área de ligações estruturais de concreto pré-moldado e na modelação para *offshore* de estruturas de torres treliçadas de concreto, para suporte de aerogeradores.

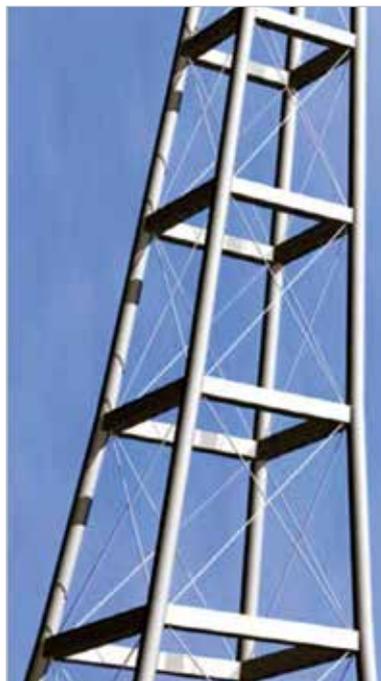
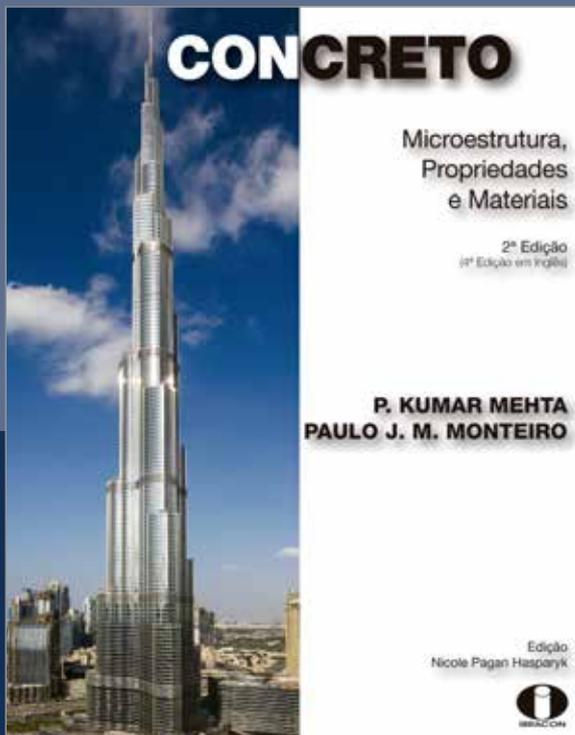


Figura 24 – Pormenor da torre treliçada de concreto pré-moldado [08]

Referências Bibliográficas

- [01] Relatório INEGI. Parques Eólicos em Portugal. APREN – Associação Portuguesa de Energias Renováveis Dezembro de 2013.
- [02] Renewables 2013 Global Status Report; REN 21 - Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, June 2013; Paris; ISBN 978-3-9815934-0-2.
- [03] Odílon A. C. Amarante, Michael B. J. Zack, Antonio L. de Sá (2001). Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. CRESESB, Brasília.
- [04] Atlas de Energia Eólica no Brasil (2005). Agência Nacional de Energia Elétrica. 2. Ed – Brasília: ANEEL, 243p. ISBN: 85-87491-09-1.
- [05] Tricklebank, A. H. et al. (2007). Concrete towers for onshore and offshore wind farms - conceptual design studies, The Concrete Centre, UK.
- [06] Chastre, C., Lúcio, V., et al. (2012). Estruturas Pré-Moldadas no Mundo. Aplicações e Comportamento Estrutural, Fundação da Faculdade de Ciência e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa, Brasil, 320p., ISBN: 978-989-97721-1-3
- [07] Chastre, C., and Lúcio, V. (2012). “Torres pré-fabricadas de betão para suporte de turbinas eólicas.” Estruturas Pré-moldadas no Mundo - Aplicações e Comportamento Estrutural, Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa, p.91-106.
- [08] Chastre, C., Lúcio, V. (2012). “Precast Towers for Wind Energy Generators - Design issues.” Precast Concrete Towers for Wind Energy Generators, Válter Lúcio, C. Chastre, R. Marreiros, A. Oliveira, and A. Machado, eds., Fundação da Faculdade de Ciência e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa, p.62-92.
- [09] Chastre Rodrigues, C.; Da Guia Lúcio, V.; Truss Tower; WIPO - World Intellectual Property Organization, International Publication Number WO 2010/117289 A9; 2010.
- [10] Brughuis, F.; Advanced Tower Systems; PrecastWind 2012 - Precast Concrete Towers for Wind Energy Generators; Fundação da Faculdade Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA Lisboa, 2012; ISBN: 978-989-97721-4-4.
- [11] Lúcio, V., Chastre, C., Marreiros, R., Oliveira, A., and Machado, A. (2012). “Precast Concrete Towers for Wind Energy Generators.” Fundação da Faculdade de Ciência e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa. 175p., ISBN: 978-989-97721-4-4.
- [12] Feliciano, Mícael. Estudo da implantação offshore de turbina eólica sobre torre treliçada em betão pré-esforçado. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Energias Renováveis Conversão Elétrica e Utilização Sustentável. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa. <http://hdl.handle.net/10362/11888>.
- [13] Lúcio, V., Chastre, C. (2014). “Precast concrete wind tower structures” CPI - Concrete Plant International, junho 2014, p.144-149.
- [14] Lúcio, V. , Chastre, C.; Precast Towers for Wind Turbines; International Concrete Conference & Exhibition - Latin America 2014, p.74-81, Florianópolis, Brasil, março 2014. ●



CONCRETO

MICROESTRUTURA, PROPRIEDADES E MATERIAIS

KUMAR MEHTA E PAULO MONTEIRO

**Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
Universidade da Califórnia em Berkeley, Estados Unidos**

Ano: 2014

Baseada na quarta edição – revisada, atualizada e ampliada – a versão brasileira será lançada pelo IBRACON no 56º Congresso Brasileiro do Concreto.

Edição amplamente revisada para trazer os últimos avanços sobre a tecnologia do concreto e para proporcionar em profundidade detalhes científicos sobre este material estrutural amplamente utilizado.

No lançamento, haverá tarde de autógrafos com um dos autores, o Prof. Paulo Monteiro, no estande do IBRACON na X Feibracon – Feira Brasileira das Construções em Concreto.

TÓPICOS ABORDADOS

- Microestrutura do concreto
- Resistência
- Estabilidade dimensional
- Durabilidade
- Cimentos hidráulicos
- Agregados
- Aditivos e adições
- Dosagens de concreto
- Concreto em idades jovens
- Ensaio não destrutivo
- Progresso na tecnologia do concreto
- Avanços na mecânica do concreto
- Aquecimento global e o concreto no futuro

COORDENADORA DA EDIÇÃO

- Nicole Pagan Hasparyk, ELETROBRAS Furnas

COLABORADORES NA REVISÃO DA EDIÇÃO

- Ana Paula Kirchheim, UFRGS
- Angela Gaio Graeff, UFRGS
- Heloísa Helena A. B. Silva, ELETROBRAS Furnas
- Luciana dos Anjos Farias, ELETROBRAS Furnas
- Monica Batista Leite, UEFS
- Paulo Helene, PhD Engenharia
- Sérgio Botassi dos Santos, IPOG
- Vladimir Antonio Paulon, UNICAMP

Patrocinadores



Mais informações



www.ibracon.org.br

Evolução das torres eólicas pré-moldadas protendidas

EVANDRO PORTO DUARTE – DIRETOR

EOLICABRAS

1. DESENVOLVIMENTO DAS TORRES EÓLICAS

A energia eólica sempre foi utilizada desde a antiguidade como, por exemplo, no século 1 D.C. na Grécia através de uma roda movida pelo vento para movimentar uma máquina. Antes já se tinha proveito desta energia através dos barcos a vela movimentando-se pelos mares. Os Moinhos de Vento da Idade Média tiraram partido dessa energia para moer os grãos dos cereais e bombear água para utilização das pessoas.

A geração de energia elétrica para a utilização industrial, comercial e domiciliar veio através da Revolução Industrial, mas durante sua evolução, sua geração acabou esquecendo a aplicação eólica (vento) e ficou muito restrita à energia advinda da água.

No século XIX, os Moinhos declinaram e aumentou a utilização de máquinas a vapor (novamente a utilização da água).

O primeiro moinho utilizado para a produção elétrica foi construído na Escócia, em 1887, para gerar energia elétrica de aplicação caseira.

Em 1888, Charles Brush promoveu o surgimento da eletricidade com os primeiros protótipos de turbina eólica com a tecnologia baseada no tradicional moinho de vento.

A seguir apresentaremos a cronologia das pessoas que contribuíram para o desenvolvimento desta solução:

- **Charles F. Brush (1849-1929)**, um dos fundadores da indústria elétrica norte-americana. No Inverno de 1887-88, Brush construiu uma máquina considerada a primeira turbina eólica automatizada para produção de eletricidade. Tendo em conta as condições da época, as dimensões eram enormes: Diâmetro do rotor: 17 m (50 pés), 144 pás de rotor em madeira de cedro. A turbina funcionou durante 20 anos e alimentava as baterias na cave da casa de Brush. Apesar das dimensões, a turbina gerava somente 12 kW de eletricidade.

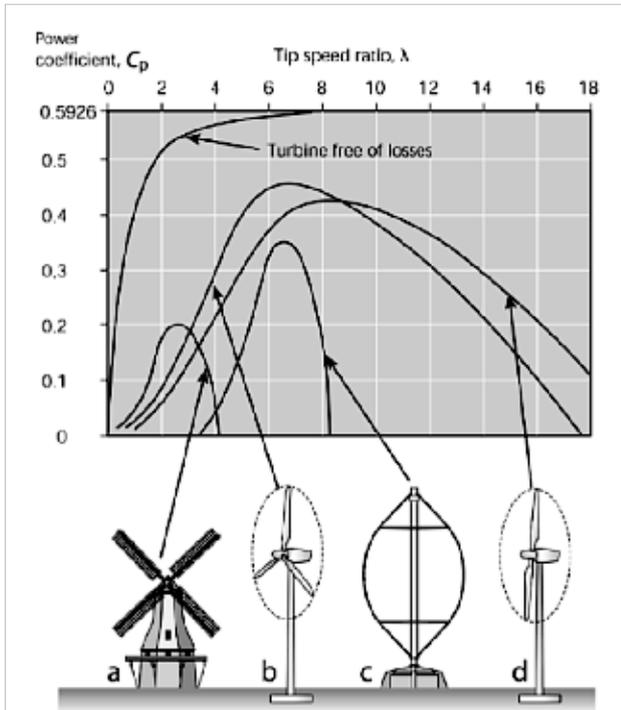
- **Poul la Cour (1846-1908)**, meteorologista dinamarquês. É considerado o pai da indústria eólica moderna. A sua primeira turbina eólica comercializável foi instalada após a Primeira Guerra Mundial, durante um período de escassez generalizada de combustível. Fundou o primeiro centro de investigação de energia eólica em Jütland, onde ministrou os primeiros cursos a engenheiros eólicos. Juntamente com as suas primeiras experiências na técnica dos túneis de vento, publicou a primeira revista mundial sobre energia eólica.

- **Albert Betz (1885-1968)**, físico alemão. Como diretor do Instituto de Aerodinâmica em Göttingen, formulou a lei Betz, demonstrando que o máximo físico da utilização da energia cinética do vento reside nos 59,3%. A sua teoria sobre o design das pás continua ainda hoje a ser a base da construção dos equipamentos.

- **Palmer Cosslett Putnam (1910-1986)**, engenheiro norte-americano. Desenvolveu a turbina eólica 1,25 MW Smith Putnam, em 1941, que funcionou com interregnos até 1945 e foi encerrada devido a danos nos materiais de construção. Esta turbina teve um reduzido período de vida útil e foi encerrada devido a problemas causados por materiais de construção inapropriados. Os materiais modernos e os padrões de qualidade utilizados atualmente ainda não haviam sido desenvolvidos. Os materiais e a qualidade necessários para estas dimensões ainda não existiam.

- **Ulrich W Hüttner (1910-1990)**, engenheiro alemão. A sua turbina 100 KW StGW-34, instalada em 1957 num campo experimental nos Alpes Suábios, é considerada um dos marcos da tecnologia de energia eólica moderna.

- **Johannes Juul (1887-1969)**, engenheiro dinamarquês. Aluno de Poul la Cour. Construiu a primeira turbina eólica do mundo (200 KW) para produção de corrente alternada,



Fonte: European Wind Energy Association - EWEA

Figura 1 – Evolução dos aerogeradores

na Dinamarca, em Vester Egesborg, em 1957. Esta turbina é o protótipo das turbinas eólicas modernas.

Com a crise do petróleo em 1973, foi estimulada a pesquisa de outras fontes de energia. A partir desta época, foi dada a partida para a aplicação da geração de energia a partir dos ventos, associando-se mais ainda ao surgimento do movimento contra a utilização da energia nuclear.

A partir desta época, os institutos de pesquisa conseguiram implementar padrões internacionais, uma regulamentação

e um design mais eficiente, o que acarretou o surgimento de parques eólicos modernos e economicamente viáveis, reduzindo os anteriores custos elevados da aplicação.

No Brasil, existe um grande potencial para o mercado de energia eólica devido à necessidade de uma maior demanda de energia produtiva industrial e do respeito a não agressão ao meio ambiente causado na implantação de grandes barragens.

Atualmente, o mercado de energia eólica no Brasil está produzindo 1000 MW por ano e sua necessidade é de 2000 MW.

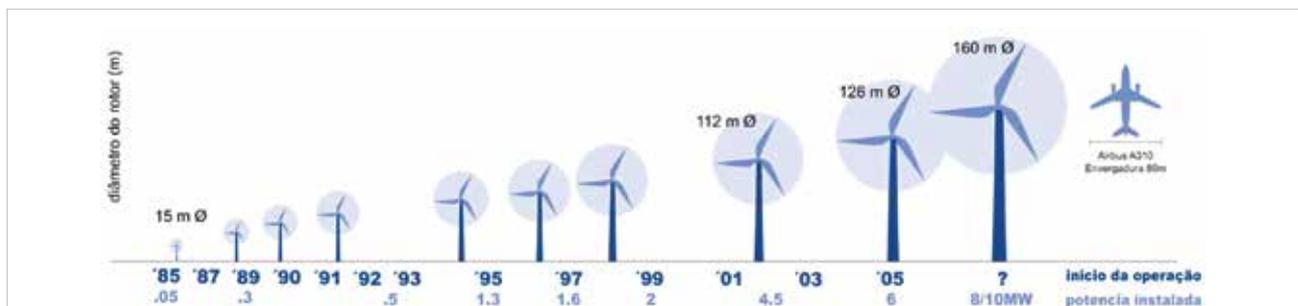
A frase do químico francês Lavoisier é bem aplicada neste caso: “Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”, fazendo a energia eólica ser transformada em energia elétrica.

Com o advento desta aplicação ao longo de todo o mundo, vários países tomaram a frente, notadamente a Alemanha e Espanha, na Europa, e a China, na Ásia.

Os fabricantes partiram da Europa e se estenderam por todo o mundo, podendo ser citadas as seguintes marcas como exemplo:

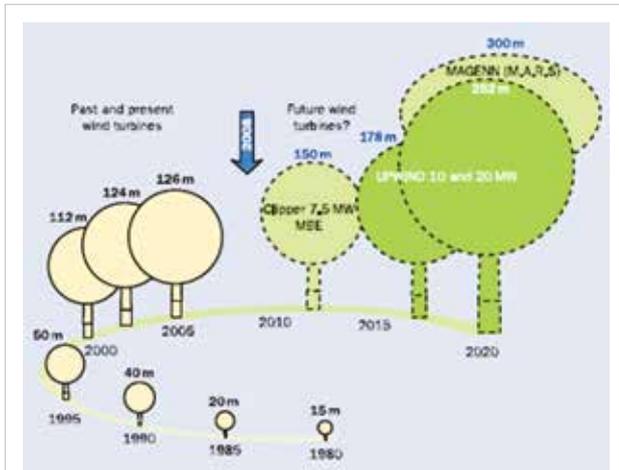
- Gamesa;
- Vestas;
- Enercon;
- GE;
- Nordex;
- Siemens.

A potência gerada por um único aerogerador era inferior a 1MW (década de 80), porém atualmente sua potência vai de 2MW até 6MW, sabendo-se que a transformação desta em energia real, devido tanto à intermitência do vento quanto à sua transformação em energia, tem uma redução de até 50%.



Fonte: European Wind Energy Association - EWEA

Figura 2 – Evolução das dimensões das turbinas eólicas



Fonte: Garrad Hassan

Figura 3 – Crescimento e tamanho do projeto comercial das turbinas

2. LIMITES ATUAIS ENTRE AS TORRES METÁLICAS E AS TORRES DE CONCRETO

Para uma análise mais completa entre as soluções das torres metálicas e as de concreto, devem ser analisados o aspecto de Comportamento Estrutural, e o aspecto de custo global (materiais + serviços + transporte + montagem), como também a facilidade e flexibilidade de aquisição dos materiais na região ou país onde as torres serão implantadas.

No nosso caso, iremos abordar essas comparações, não somente pela experiência vivida pelos outros países, mas com maior propriedade em termos das situações existentes aqui em nosso país.

Quanto ao aspecto de comportamento estrutural, deve-se analisar o desempenho do tipo de torre para uma dada altura de aerogerador.

Podemos verificar que, para as menores alturas, a solução em torres metálicas é bem competitiva, por não sofrer com o problema dos efeitos relativos às ações dinâmicas atuantes. Quanto mais a altura aumenta, mais necessária se torna a rigidez da seção transversal da torre, para absorver adequadamente esses efeitos relativos às ações dinâmicas.

Como a espessura da parede da torre esta ligada à resistência estrutural do material, a torre metálica tem uma boa resistência mecânica estrutural com uma pequena espessura de parede, sendo, assim, uma solução no campo estático, porém perde capacitação no campo das ações dinâmicas. A solução de torre em concreto necessita, para o

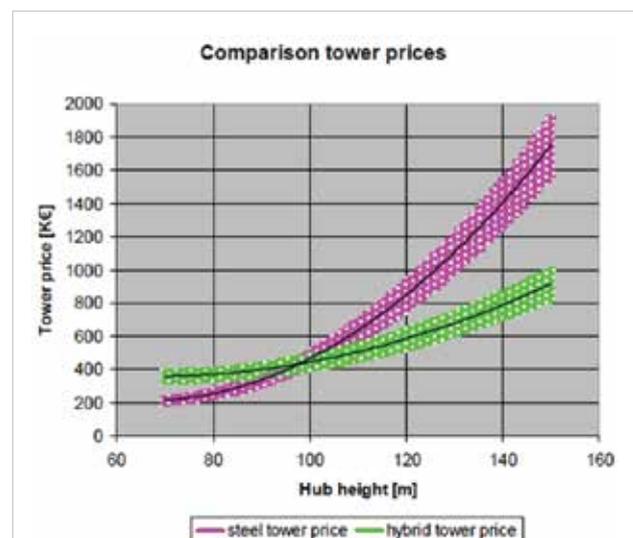
combate às ações estáticas, uma espessura relativamente grande, tendo, portanto, também um bom comportamento quanto às ações dinâmicas.

Cabe aqui neste ponto ressaltar que o problema relativo ao peso bem diferente de cada uma das aduelas componentes de cada uma dessas soluções torna-se pouco sensível no custo de Montagem/Içamento, tendo em vista que os equipamentos necessários à movimentação e posicionamento dessas peças são mais condicionados e dimensionados pela altura, conduzindo-se, então, à necessidade de utilização de guindaste de grande porte, não tão diferenciados pelo peso de içamento de cada uma das aduelas componentes das torres.

Na literatura existente e nos estudos por nós desenvolvidos aqui no Brasil, a curva de Custos x Benefícios entre as duas soluções conduz a um ponto de convergência na altura de 80,00m, sendo, então, a partir daí mais competitiva a solução de torres em concreto (torre protótipo executada pela Eolicabas e pelos projetos já por ela desenvolvidos).

As soluções aqui no Brasil, em função da localização das regiões propícias à implantação dessas torres, conforme podem ser vistas no Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, conduzem, em razão das velocidades dos ventos e de suas alturas, à utilização de torres com alturas superiores a 100,0 ml. Assim, a solução de torres em concreto passa a ser totalmente viável.

Sendo a utilização de concreto a melhor solução, fica consequentemente óbvio que, para dar resposta executiva



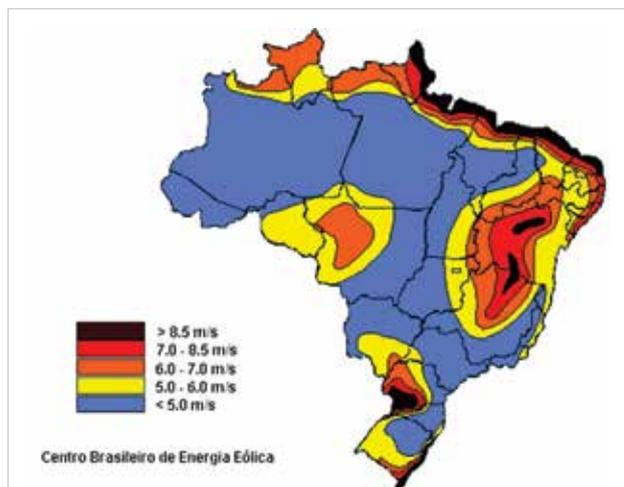
Fonte: F. J. Brughuis, Advanced Tower Systems BV

Figura 4 – Comparação de preço entre torres

a esta aplicação, necessária se torna a utilização de peças/ aduelas pré-moldadas. Já, para conferir integridade estrutural e bom comportamento em todas as seções de cálculo, predominantemente nas juntas entre peças pré-moldadas, torna-se necessária a aplicação de protensão, para o combate tanto aos Estados Limites de Utilização (fissuração, fadiga e deformação/limite de deslocamento da Nacele) quanto aos Estados Limite Último (verificação à ruptura).

Para melhor conceituar o que acima foi descrito, vamos apresentar as vantagens inerentes à solução de torres de concreto:

- **Baixa manutenção** – Pelo fato do concreto resistir melhor à agressividade do meio ambiente e também a não necessidade de se efetuar “re-apertos” de parafusos de ligação entre peças, de tempos em tempos;
- **Maior durabilidade** – O Concreto de Alto Desempenho utilizado nessas soluções tem uma grande Compacidade, conferindo melhor comportamento de durabilidade ao material;
- **Ausência da oxidação** – Não necessidade de pintura anticorrosiva de proteção;
- **Melhor comportamento dinâmico** – Devido à muito maior rigidez da seção transversal, o comportamento frente às ações dinâmicas conduz não somente a restringir grandes deslocamentos, mas também ao menor dimensionamento das seções por essa ação;
- **Menor fadiga** – Devido a exposto no item anterior, as tensões de trabalho dos materiais são menores, arrefecendo tanto as majorações de materiais causadas pelo dimensionamento à Fadiga quanto a viabilização dos desloca-



Fonte: Centro Brasileiro de Energia Eólica

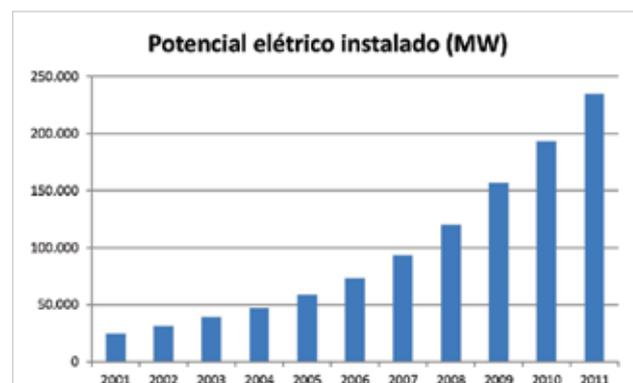
Figura 5 – Mapa das potencialidades no Brasil

Tabela 1 – Potencial de energia no mundo (2012)

Lugar	País	Potência [MW]
1º	China	44.733
2º	E.U.A.	40.180
3º	Alemanha	27.214
4º	Espanha	20.676
5º	Índia	13.065
6º	Itália	5.797
7º	França	5.660
8º	Reino Unido	5.204
9º	Canadá	4.008
10º	Dinamarca	3.734
11º	Portugal	3.702
12º	Japão	2.304
13º	Holanda	2.237
14º	Suécia	2.052
15º	Austrália	1.880
16º	Irlanda	1.428
17º	Turquia	1.274
18º	Grécia	1.208
19º	Polônia	1.107
20º	Áustria	1.011
21º	Bélgica	911
22º (?)	Brasil	734
-	União Européia	84.278
-	Mundial	196.630

mentos limites possíveis no Rotor do aerogerador;

- **Maior resistência ao fogo** – Devido as espessuras das paredes e seus recobrimentos necessários, as armaduras estão melhor protegidas do grande gradiente térmico que ocorre por ocasião de um acidente com incêndio;
- **Menor custo relativo entre o aço estrutural e o concreto armado/protendido** – Como no Brasil temos uma



Fonte: Abeeólica

Figura 6 – Potencial elétrico advindo da energia eólica instalado no Brasil (2011)



Figura 7 – Detalhes executivos

grande potencialidade das soluções em concreto x soluções em aço estrutural com relação ao custo de cada uma dessas soluções, também na aplicação de torres eólicas continua válida esta comparação;

- **Grande facilidade de industrialização das peças de concreto** – Como os materiais componentes do concreto são encontrados em todas as regiões do país, torna-se mais competitiva a produção de peças pré-moldadas em Canteiros de Pré-fabricação, os quais podem ser montados na proximidade da região da construção das torres;
- **Ausência do problema de flambagem localizada** – Este problema apenas ocorre em peças delgadas submetidas a grandes tensões, caso das torres metálicas;
- **Interrupção de produção** – A torre de concreto da mes-

ma altura do que a de aço tem maior rendimento de energia por fazer funcionar o aerogerador com ventos maiores e por mais tempo.

3) APLICAÇÕES ATUAIS DE TORRES EM CONCRETO

Diversas empresas ao longo do mundo têm desenvolvido a solução de suas torres, à medida que a altura delas aumenta, primeiramente em solução denominada híbrida, aproveitando o conhecimento e o comportamento das torres metálicas.

Esta forma de solução foi uma primeira tentativa de somar o comportamento dinâmico das torres metálicas com o comportamento de uma base de concreto

estrutural, que confere uma rigidez suficiente para atendimento às ações dinâmicas.

Com essa solução, pode-se verificar que a construção de parte da torre em concreto estrutural não acarretava dificuldades executivas e que esta parte também podia ser feita em pedaços (aduelas), conduzindo, então, à solução das torres feitas toda em concreto estrutural.

Nos últimos tempos, várias empresas, tanto na Europa quanto na China, têm caminhado para a aplicação em Torres em Concreto Estrutural com Peças Pré-Moldadas, aliando a esta solução a introdução da protensão, tanto para o

combate às solicitações quanto para a união dessas peças pré-moldadas.

Com o desenvolvimento da altura dessas torres para valores superiores a 100,0 m, esta solução caminha para ser a melhor opção executiva e de custo, principalmente em nosso país, tendo em vista a competitividade da solução em concreto.

No presente momento, existem diversas soluções em Aduelas de Concreto Pré-moldado sendo desenvolvidas ao longo de todo o mundo, seja pela união dessas aduelas por concretagem “in-loco”, seja predominantemente por colagem por protensão.

Referências Bibliográficas

- [01] Concrete Towers for Onshore and Offshore Wind Farm / Gifford and The Concrete Center;
- [02] EWEA - European Wind Energy Association;
- [03] Wind energy - The Fact/publication of EWEA;
- [04] RETScreen International, Wind Energy Project Model;
- [05] F. J. Brughuis, Advanced Tower Systems BV. ●



MASSA CINZENTA.
TUDO SOBRE O MERCADO
DA CONSTRUÇÃO CIVIL,
AGORA NAS REDES SOCIAIS.



Curta, compartilhe, siga e acompanhe.



Massa
Cinzenta

cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta



cimentoitambe.com.br

Realizações do concreto no setor eólico

RAMÓN LÓPEZ MENDIZABAL – GERENTE TÉCNICO
ESTEYCO ENERGIA

Num setor industrial no qual o aço, até hoje, vem tendo uma preponderância forte, onde, *a priori*, parece que cada elemento é executado com base em designs imutáveis e em série, estão ocorrendo cada vez mais ideias inovadoras que utilizam o concreto como opção vantajosa e essa alternativa vem ganhando cada vez mais peso na florescente indústria eólica mundial.

O presente artigo tratará de mostrar, através de alguns exemplos e através da experiência de seu autor, como este setor vem se tornando cada vez mais dinâmico, gerando novos avanços em concreto e cotas de participação que antes pareciam proibidas ou inalcançáveis.

1. EXPERIÊNCIA NO SETOR EÓLICO

As primeiras experiências da Esteyco no setor eólico remontam aos primórdios da energia eólica na Espanha, na década de 90. Naquela época, um grupo de engenheiros civis começou a dar os primeiros passos num setor que, até aquele momento, era quase exclusivamente industrial. Desde aquela época, em que os primeiros trabalhos in loco das fundações das turbinas eólicas começou, o autor foi introduzido-se nas várias disciplinas relacionadas ao setor eólico. Após mais de 20 anos, um total de 4.500 fundações já foram projetadas e implementadas em mais de 30 países.

Essas primeiras incursões no setor tiveram continuidade com o próximo passo de envolver-se no projeto pioneiro de torres eólicas em concreto pré-fabricado, inicialmente para outra empresa espanhola INNEO TORRES. Até hoje, a Esteyco ainda é a empresa de projetos responsável pelo maior número de torres de concreto pré-fabricado no mundo, com mais de 500 realizações já iniciadas e vários projetos acabados. Este artigo irá dedicar uma parte para

tratar mais detalhadamente deste tipo de estrutura, dando razão à importância altamente crescente do setor de energia eólica no mundo.

A atividade de projeto para torres eólicas, partindo de fundações, foi estendida para o restante das obras civis dos parques eólicos: estradas, plataformas, drenagem, todos adaptados às exigências da etapa do transporte de grandes cargas de componentes das turbinas e de guindastes específicos utilizados na montagem. Num parque eólico podem ser necessários reparos de diferentes manifestações patológicas, afetando a conexão entre torre e fundação, montagem da parte elétrica, proteção superficial, manutenção futura, e, finalmente, todas as atividades dentro do projeto que são cobertos por um parque eólico, também abrangendo todas as fases de sua vida útil, desde a sua concepção inicial até sua operação.

Este artigo irá mostrar dois exemplos representativos da atividade desenvolvida ao longo dos anos no setor de energia eólica. Aborda-se primeiramente o concreto pré-fabricado e, depois, as novas soluções para fundações.

2. TORRES EÓLICAS DE CONCRETO PRÉ-FABRICADO

2.1 INTRODUÇÃO

Historicamente, o concreto tem sido sempre o material mais frequente e economicamente competitivo para todos os tipos de estruturas altas. Exemplos claros dessa afirmação são encontrados em chaminés, torres de comunicação, pilares de pontes, os edifícios mais altos do mundo, etc. Isso, até recentemente, contrastava com a realidade do setor eólico, onde a construção de torres tinha sido praticamente monopolizada pelo aço.

As razões para a existência desta singularidade eram essencialmente duas. Por um lado, a necessidade crítica da montagem rápida de torres barrava o caminho para novas soluções, que não tiveram a experiência adquirida pelo aço através de milhares de torres construídas, no qual todas as atividades, desde o projeto até a logística, a fabricação, o transporte e montagem, são bastante otimizadas. Além disso, o preço do aço nas torres eólicas – que são construídas com chapas de aço curvadas através de máquinas de dobra, com solda contínua, em linhas de produção muito automatizadas e com mão de obra reduzida – tem sido altamente competitivo, atingindo valores por unidade de peso da ordem de um terço do preço do aço usado, por exemplo, em pontes.

Entretanto, a velocidade de montagem e a eficiência de custo da torre de aço tubular dependem muito do transporte dos tubos de aço ao parque eólico, limitando o diâmetro para valores em torno de 4,30 m, o que restringe a capacidade da torre de crescer em altura, indo contra a tendência clara do mercado, que exige turbinas de energia cada vez mais altas e de maior potência para reduzir o custo de energia gerada (COE).

Até o momento, quase todas as turbinas atuais com mais de 100m de altura e com potência acima de 2MW constam em seus catálogos com alguma solução “modificada”, no que diz respeito à torre convencional. Torres de concreto pré-fabricado já provaram ser uma solução para este problema.

Embora inicialmente desenvolvido para alcançar alturas onde as torres tubulares de aço não poderiam atingir, as torres de concreto pré-fabricado provaram ser também adequadas em caso de turbinas de energia a alturas convencionais, concorrendo com as torres de aço em alturas, que agora, podem ser consideradas intermediárias. Isso tem sido particularmente marcante num mercado como o brasileiro, com um grande número de vantagens muito particulares – incluindo a importância do conteúdo local – que lhe fizeram um dos países no mundo onde as torres de concreto têm, não apenas um futuro promissor, mas também um presente. Não se pode negar que o fato da torre de concreto ser um produto 100% local, contribuindo para a criação de uma indústria próxima ao parque, constitui um importante incentivo adicional.

Sendo fiel à realidade, o produto torre de concreto para turbina eólica não é um produto criado recentemente. Historicamente, torres eólicas deste material já haviam

sido utilizadas por muitos fabricantes de aerogeradores. Tanto GE como Nordex, WinWinD e ALSTOM, por exemplo, utilizaram no passado torres híbridas baseadas no concreto moldado in loco. Todas essas experiências positivas, no entanto, foram limitadas a protótipos ou projetos de pequena escala. Ainda que muito adequado do ponto de vista estrutural, o problema das soluções baseadas em concreto moldado in loco é que exigem prazo de execução muito elevado, grande força de trabalho, além da dependência muito grande das condições climáticas da obra. Isso fez com que esses tipos de solução se limitassem a experiências isoladas.

Soluções bem projetadas em concreto pré-fabricado podem oferecer uma interessante combinação de capacidade estrutural elevada, similar ou superior ao caso de concreto moldado in loco, e produção industrial com altos rendimentos de execução e montagem. Já existem muitos fabricantes de aerogeradores que usaram tecnologia de concreto pré-fabricado, e, em muitos casos, a solução escolhida foi também projetada pela Esteyco. Exemplos disso são: turbinas da Siemens, Impsa, AccionaWindpower, Alstom e Gamesa, que contam com torres de concreto projetadas pela Esteyco. Para os três primeiros, há parques importantes do Brasil, já entregues ou em construção. O número de realizações no país, em breve, ultrapassará 400 unidades.

Um fato importante e que chama a atenção é que, apesar de todo o conhecimento anterior do material aplicado a outras estruturas e que prova a versatilidade e adaptabilidade do concreto, este conhecimento nem sempre pode ser diretamente extrapolado para o projeto e construção de torres de concreto. As turbinas de vento têm crescido até se tornarem as maiores máquinas rotativas existentes, com exigências muito específicas e complexas: cargas cíclicas importantes que alteram o comportamento à fadiga, obras situadas em locais isolados, com exigentes condições de trabalho. Atrás de cada um dos projetos realizados estão anos de pesquisa em engenharia de simulação e ensaios, antes que um projeto venha a se tornar uma tecnologia comprovada e pronta para a comercialização. Os processos de certificação que já incluem 14 torres certificadas ajudaram a avaliar e qualificar a tecnologia de projeto e construção, sendo altamente recomendados para evitar alguns riscos inerentes quando são utilizadas novidades tecnológicas sem certificação.

2.2 TORRE DE CONCRETO PRÉ-FABRICADO: ASPECTOS GERAIS

A torre de concreto pré-fabricado é dividida em níveis tubulares com comprimentos com medidas em torno de 20m. Cada um desses níveis, subdivide-se em painéis, adequando-se, assim, às limitações de transporte (tanto em tamanho como em peso). Em obra, os painéis são pré-montados no nível do solo, formando níveis tubulares, sendo que esta fase demanda apenas guias de pequena tonelagem. Numa segunda fase, independente da primeira, a grua grande – a mesma a ser utilizada na elevação da turbina à sua posição definitiva, já que sua capacidade nunca estará condicionada pela montagem da torre de concreto – elevará os níveis completos para a sua posição final, completando, assim, a construção da torre.

2.3 CARACTERÍSTICAS E VANTAGENS DAS TORRES DE CONCRETO PRÉ-FABRICADO

Há um bom número de vantagens que as torres de concreto pré-fabricado possuem relativamente às de aço.

Em termos de comportamento estrutural e capacidade, pode-se eleger, sem restrições, a geometria mais conveniente para a torre e sua frequência natural, não

sendo influenciada pelas condições de transporte, permitindo, assim, diâmetros quase proibidos para torres de aço. Conseqüentemente, aumenta-se a capacidade de atingir alturas muito elevadas, 140m ou mais, proporcionando apoio para turbinas de potência praticamente ilimitada.

No que diz respeito às propriedades do material, é óbvio que o grande amortecimento estrutural, as boas propriedades de concreto contra fadiga proveniente de cargas dinâmicas, sua boa ductividade (frente à fragilidade das torres de aço convencionais, cujos modos de falha geralmente são regidos pela repentina flambagem de suas chapas) são um notável valor agregado.

Em termos de transporte e logística, os sistemas de juntas patenteados reduzem significativamente as operações em obra, de modo a produzir “2 torres / semana x equipe” ou mais, sem maiores problemas, similiarmente ao que se obtém em torres de aço. O transporte simples e barato dos vários elementos, o que é minimizado no caso da fabricação em unidades móveis localizadas dentro do parque eólico, reduz os custos de logística a um mínimo. Outra vantagem, do ponto de vista da sequência de montagem, é que a torre de concreto é geralmente insensível à formação de desprendimento de vórtice, fenômeno que



Figura 1 – Imagens da montagem e pré-montagem de torres de concreto pré-fabricado

pode ocorrer quando montada a torre. Isto é de grande importância logística, pois permite a separação dos trabalhos de pré-montagem e a montagem.

Em termos de manutenção, a torre de concreto é praticamente livre de manutenção, ao contrário de torres de aço, mesmo sem a necessidade de ser pintada. A sua durabilidade, muito mais elevada do que os 20 anos de torres de aço, é favorecida pela utilização de concreto de alto desempenho ($f_{ck} \rightarrow 50\text{MPa}$), com um elevado nível de qualidade permitida pela pré-fabricação industrial. O alto desempenho está ainda diretamente relacionado com uma resistência ao fogo, muito superior quando comparada às torres de aço.

Em termos da sapata associada, esta é uma das vantagens mais importantes, uma vez que, quanto maior for o peso da torre estabilizador, menor é o peso necessário para fornecer estabilidade à fundação. Além disso, o maior diâmetro na base significa resistência a momentos, reduzindo a quantidade de aço necessária. Do mesmo modo, o aumento da rigidez da torre significa menores requerimentos para a fundação, o que leva a uma redução significativa no tamanho da fundação em solos mais complicados. Disso resulta versatilidade, existindo também uma gama de terrenos nos quais podem ser evitadas fundações profundas com estacas (necessárias para as torres de aço), por meio da utilização de fundações diretas “ampliadas”. Em geral, como uma ordem de grandeza, a economia atinge valores da ordem de 30-40% sobre os alicerces da torre de aço equivalente.

Em termos de meio ambiente e sustentabilidade, a quantidade de CO₂ emitida durante o processo de fabricação, é significativamente mais baixa, aproximadamente 55-60% da emitida durante o processo de fabricação da torre de aço equivalente. O maior amortecimento também faz com que o nível de ruído seja significativamente menor, mantendo uma aparência visual favorável.

Além disso, como consequência de torres de turbinas mais altas, alojando turbinas mais potentes, pode-se reduzir o número de turbinas para uma potência determinada, reduzindo-se a quantidade de concreto, dependendo da quantidade de MW instalado.

Finalmente, quando da desativação no fim da sua vida útil (em geral, 20 anos para as turbinas), o concreto pode ser reciclado como agregado para concreto novo, ou a torre reutilizada para uma turbina nova.

Em termos de funcionalidade, não há dúvida de que o

espaço interior para os equipamentos, graças ao diâmetro maior na base, facilita o trabalho a ser realizado lá, evitando instalações auxiliares externas ou pisos duplos no interior da torre. Seu tamanho maior de porta permite a passagem de equipamentos em uma única peça, proporcionando, além do conforto significativamente maior, a economia nas fases de montagem, manutenção, reparo ou substituição eventual de equipamentos. A flexibilidade do concreto para se adaptar facilmente a qualquer configuração de componentes internas também é muito elevada.

De qualquer forma, a principal vantagem da torre de concreto tem de passar pela minimização do custo de energia. Nos casos em que a altura não está limitada por alguma circunstância, a altura ótima da torre pode ser obtida por meio de uma simples comparação entre o custo da energia adicional que é obtida mediante o aumento da altura (seu aumento do custo com o aumento da torre e suas fundações). Essa comparação, especialmente em locais com altos valores de cisalhamento pelo vento (wind shear), revelou-se muito favorável para a torre de concreto, uma vez que mostra seu potencial para alturas elevadas.

O autor e sua equipe estão hoje no processo de criação de novas soluções de torres, que minimizam os meios de elevação necessários para a montagem da torre, eliminando completamente a dependência total de guindastes de grande porte, que existem atualmente para torres com mais de 100m, caso que se agrava quando superam 120m de altura. Essas novas soluções, de tipo telescópico, são capazes de montar as torres pelo levantamento de seus tramos, um sobre o outro, sem a necessidade de guias, mas com um processo de elevação por macacos de elevação. Atualmente, está sendo desenvolvido um protótipo nos arredores de Madrid, Espanha, onde será ensaiado o novo projeto desenvolvido pela empresa nos anos recentes.

3. FUNDAÇÕES DE AEROGERADORES: NOVOS TEMPOS, NOVAS SOLUÇÕES

3.1 INTRODUÇÃO

A fundação de um aerogerador funciona como um elemento de interface entre a torre, feita de materiais altamente resistentes, como aço ou concreto, e o solo relativamente inconsistente. As cargas da torre devem transpor, portanto, esse elemento de desvio de percurso quase verti-

cal traçado ao longo da torre, de modo a serem distribuídas até o nível do solo em uma grande área, não excedendo a tensão admissível do solo. Uma vez que o contato entre o solo e a fundação de concreto não admite tensões de tração, a existência ou não de separação entre ambos deve ser rigorosamente controlada desde o próprio projeto.

Um projeto da fundação de um aerogerador, que deve incluir os aspectos estruturais e geotécnicos, tem requisitos específicos, muitos rigorosos e bastante delicados, que o aproximam (embora ainda não chegue a sê-lo) de um produto industrial, tal como os equipamentos que compõem uma torre eólica. Como ordem de grandeza, é importante notar que, enquanto porcentagem, as fundações dos aerogeradores podem compor cerca de 5% a 10% do valor total da torre de aerogerador, constituindo unidades de trabalho com um custo pouco significativo. Se a este fato, também somarmos que, em um parque eólico, em muitos casos, há um grande número de turbinas, se entenderá perfeitamente a importância de um projeto otimizado para as empresas com experiência no setor.

3.2 ABORDAGEM HOLÍSTICA GEOTÉCNICA-ESTRUTURAL

A abordagem geotécnica clássica da engenharia civil geotécnica para o problema do projeto de uma fundação consiste na obtenção de uma série de parâmetros geotécnicos, que servem para determinar o tipo de fundação. Essas abordagens, muitas vezes, não consideram a natureza especial das cargas a que está sujeita uma torre eólica: um caráter dinâmico acentuado, a necessidade de fornecer um desempenho adequado contra fenômenos de fadiga, os níveis reduzidos de tensão transmitidas ao solo, requisitos especiais exigidos em termos de força dinâmica rotacional, etc.. Por outro lado, um projeto da fundação que integre (ao invés de separar) o projeto geotécnico e estrutural resultará numa economia significativa.

A Esteyco, através desta abordagem integrada, tem uma vasta experiência em 250 parques eólicos em 32 países, incluindo o Brasil, onde já projetou mais de 4.500 bases para a grande maioria dos aerogeradores mais utilizado no mundo.

Não é nem fácil nem rápido resumir os passos que levam a um projeto ideal que contemple esta abordagem com visão holística, ao invés de dar algumas prescrições generalistas, mas que conduzem a resultados muito positivos no projeto de fundações:

- Conveniência de que a campanha geotécnica tenha sido projetada pela empresa que se encarregará do projeto de fundação, pois esta pode sugerir a obtenção dos parâmetros mais adequados (isso, obviamente, requerirá que a empresa responsável pelo projeto conte com um Departamento Geotécnico com experiência no setor eólico);
- A análise cuidadosa da força dinâmica requerida pelo conjunto de torre-fundação, tanto na vertical como, por exemplo, no caso de fundações profundas, na horizontal;
- Experiência no tratamento de interfaces entre torre e fundação, com especial atenção na ligação torre-fundação, que tem suas peculiaridades e aspectos delicados e particulares;
- Conhecimento das normas técnicas locais, nacionais e internacionais;
- Análise crítica das cargas fornecidas pelo fabricante do aerogerador;
- O conhecimento específico da análise da problemática associada à fadiga dos materiais, resultante de cargas cíclicas.

São apresentados a seguir exemplos ilustrativos dos benefícios que podem ser obtidos através da abordagem holística (geotécnica e estrutural) e também um novo modelo otimizado de fundação, que está sendo desenvolvido pela Esteyco neste momento.

3.2.1 Exemplo 1: Otimização de fundação em zona arenosa com possíveis problemas de liquefação

Neste caso, o pré-projeto inicial contava com a implementação de estacas de concreto. A natureza arenosa

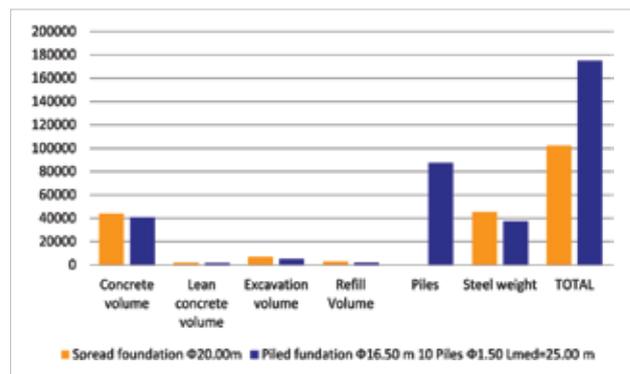


Figura 2 – Comparativo da solução econômica inicial (estacas), em cor azul, e solução proposta (fundação direta ampliada), em cor laranja

do local, juntamente com o sua granulometria e a existência de lençol freático, fizeram com que a execução dessas estacas fossem francamente onerosas.

Com base em uma exaustiva análise das características geotécnicas do solo, combinada com o tipo de cargas à quais seriam submetidas, apresentou-se uma alternativa de fundação direta com diâmetro de 20m, o que representou uma economia de 40% em relação à solução inicial.

3.2.2 Exemplo 2: O desenvolvimento de novas soluções de fundação

A indústria eólica está atualmente em um momento onde a concorrência entre as empresas é feroz, com casos em que a aquisição de projetos importantes está se voltando para diferenças de oferta realmente pequenas de um ponto de vista comercial. Nas condições atuais, qualquer detalhe pode ser decisivo.

No entanto, vale ressaltar que o tipo de fundação é um dos poucos elementos de um aerogerador que não tem sofrido grandes mudanças, em parte devido ao bom desempenho com este tipo de bloco de fundação em uma ampla variedade de solos, e também graças simplicidade construtiva.

Vários esforços têm sido feitos no sentido de reduzir eficazmente o volume de fundações de concreto e da quantidade de armaduras, sendo desenvolvidas diversas variantes, entre as quais se destacam as lajes com contrafortes ou reforçadas, como se mostra na Fig. 3, na qual se compara essa nova solução como um exemplo de fundação convencional com borda variável.

Essas lajes, apesar de reduzir significativamente o volume de concreto, mantendo a robustez da solução, requer um elevado tempo de construção pela complexidade das formas e do arranjo das armaduras, no caso da construção in situ. Da mesma forma, o caso de uma construção pré-fabricada, que reduz significativamente o tempo de construção, a magnitude e o volume de suas peças quanto ao transporte e montagem são complicados e problemáticos.

Em suma, a tendência do mercado parece ir no sentido de soluções alternativas para reduzir a quantidade de materiais, aproveitando o peso próprio do terreno da fundação. No entanto, até agora, seja por sua dificuldade construtiva, seja pela falta de robustez da solução, a sua entrada no mercado foi discreta.

Propõem-se um novo tipo de fundação que reúne muitas vantagens que podem ser resumidas num importante economia de materiais e redução de tempo, aproveitando as possibilidades que oferece a pré-fabricação. A nova solução também maximiza e otimiza a utilização do terreno natural existente no local, sem comprometer a simplicidade construtiva das soluções moldadas no local.

3.3 DESCRIÇÃO DA NOVA ALTERNATIVA DE FUNDAÇÃO PRÉ-FABRICADA

O principal diferencial em relação a outros sistemas de fundações é a redução ao mínimo dos materiais estruturais, concreto e aço, e o uso do solo existente para incorporar o próprio peso à fundação, reduzindo ao mínimo também o excesso de terra que, em outros casos, devem ser colocadas em áreas acordadas ou bota-foras,

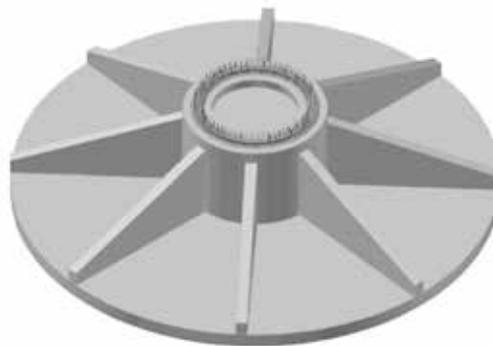


Figura 3 – Imagem de uma fundação tradicional de borda variável projetada pelo Grupo Esteyco no Parque Eólico de Talinay (Chile) e esquema de uma fundação com contrafortes, proposta pela Esteyco

minimizando seu impacto ambiental. Além disso, a solução, ao introduzir a possibilidade de pré-moldar a maior parte da fundação, incluindo os suportes e o próprio fuste ou pedestal central sobre o qual será apoiada a torre, permite um salto qualitativo na industrialização, tanto em processos de fabricação como de montagem.

Como benefício adicional, a fundação oferece uma capacidade ideal e única para aumentar a altura do suporte da fundação de forma eficiente e econômica, permitindo, assim, um aumento potencial na altura do aerogerador, sem incorrer em um sobrecusto para a torre .

Os elementos que compõem esta fundação são: laje inferior, mão francesa, fuste central e laje superior da fundação.

Tanto as mãos francesas como o anel são propostos como pré-fabricados. Apenas as lajes superior e inferior são concretadas in loco, mas sem envolver operações complexas de formas, o que fornece um comportamento monolítico e a robustez necessária. Tomados em conjunto, os diferentes elementos presentes na fundação proposta, segundo estudos prévios realizados, reduzirão em mais da metade a quantidade de concreto utilizada, significativamente menor do que outras soluções de fundações, como as que utilizam contrafortes em seu projeto, evitando, por sua vez, os grandes inconvenientes que apresentam.

Há casos em que pode ser adaptado o anel interno da fundação com o pedestal da torre, criando uma torre híbrida de aço-concreto, que permite maiores alturas com tipologias comuns às torres metálicas (que atualmente têm limitadas as suas alturas máximas) . Esta nova fundação também permite alcançar maiores profundidades em solo mais competente, com um aumento mínimo na quantidade de material utilizado, evitando a utilização de tipos mais caros de fundações.

Em suma, a experiência da Esteyco, com todo o histórico que possui no projeto de engenharia civil no setor



Figura 4 – Perspectiva geral da solução

eólico em geral, com mais de 4.500 fundações projetadas e construídas, totalizando cerca de 6GW de capacidade em 30 países, assim como o projeto de mais de 400 torres de concreto pré-fabricado executadas, dá segurança a esta nova alternativa de fundação pré-moldada que, sem dúvida, deve desempenhar um papel muito importante no mercado de energia eólica no futuro próximo, uma vez que proporciona uma economia significativa (entre 20 e 40%, conforme o caso) comparada às soluções convencionais. A essas vantagens relacionadas com economia de material, somam-se os benefícios da própria pré-fabricação industrializada: alta qualidade e industrialização dos processos de fabricação e montagem. E tudo feito 100% no local, o que resulta num alto valor agregado, requisito importante no caso de um país como o Brasil.

A solução se mostra adequada para diferentes condições do solo, sendo também particularmente adequada para alturas crescentes, tanto para torres de aço como para a torres de concreto.

Referências Bibliográficas

- [01] "Guideline for the Certification of Wind Turbines. Germanischer Lloyd". Edition 2.010;
- [02] "WTG Foundations: Advantages of an integral design". IQPC Conference, Manfred Petersen. Bremen, Germany. August, 29th 2012;
- [04] "Precast concrete wind towers: the rise to the next level in hub height and support capacity for large turbines". Jose Serna and Jorge Jimeno. Modern Energy Review;
- [05] "Liquefaction resistance of soils". Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. T. L. Youd and I.M. Idriss. ●

Desafios na solução de fundações de aerogeradores

JARBAS MILITITSKY – PROFESSOR
MILITITSKY – CONSULTORIA GEOTÉCNICA

1. INTRODUÇÃO

São apresentados os aspectos característicos da solução de fundações de aerogeradores, incluindo as etapas de investigação do subsolo, escolha de soluções, projeto, supervisão de execução e liberação das fundações executadas, com apresentação de casos de obras com diferentes opções construtivas de solução.

Além do conhecimento fundamental de comportamento do solo quando são transmitidas cargas através de fundações diretas ou profundas, típicas de todas as soluções de fundações de estruturas, são abordados aspectos da prática e experiência necessários para a boa condução do problema associados às necessidades dos projetos dos parques de aerogeração, diferentes especificações dos fornecedores e práticas vigentes nos locais de origem dos mesmos.

2. CARACTERÍSTICAS DIFERENTES DOS OUTROS PROBLEMAS DE FUNDAÇÃO - COMPARAÇÃO COM OUTRAS ESTRUTURAS SIMILARES

Quando são feitas comparações entre torres para turbinas

eólicas e estruturas para as quais fundações devem ser projetadas, verifica-se que a natureza do problema é diferente, seja pela responsabilidade, seja pelo nível elevado de carregamento, seja pelas necessidades especiais de desempenho, seja pelas condições dos locais onde as mesmas são implantadas.

■ *Torres de telecomunicação:*

- 70 a 120 m de altura;
- Sem carregamento repetido;
- Elementos únicos (isolados);
- Sem cargas decorrentes da operação e funcionamento.

■ *Torres de linhas de transmissão elétrica:*

- Baixa carga atuante;
- Grande número, em geral solução padrão;
- Colapso sem risco elevado, projeto para cargas com determinado período de recorrência;
- Sem requisitos de desempenho – somente condição de segurança à ruptura, nenhuma consideração referente à rigidez.

■ *Aerogeradores:*

- Alturas entre 75 e 120 m, com pás de 35 a 70 m;



Figura 1 – Acidentes

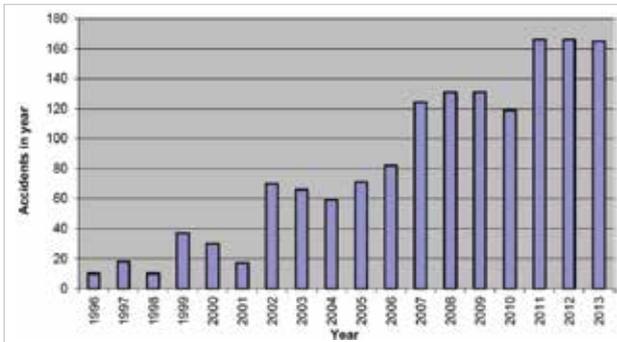


Figura 2 – Estatística de acidentes

- b) Grande número – 30/140 em cada parque;
- c) Vida útil de 20 anos (175.000 horas de operação) com cargas repetidas provenientes da operação (fadiga);
- d) Construções em locais onde não há experiência anterior na solução de fundações;
- e) Cargas muito elevadas (escala);
- f) Especificações dos fornecedores com diferentes características (solução e desempenho);
- g) Requisitos de rigidez importantes para o dimensionamento estrutural do bloco e torre.

3. OCORRÊNCIA DE ACIDENTES

Acidentes com estruturas de aerogeradores são em geral espetaculares, como mostra a figura 1.

A estatística de acidentes em geral, incluídos os estruturais e outros, pode ser vista na Figura 2.

É relativamente comum a verificação de desempenho não satisfatório devido à falta de rigidez das fundações e fadiga na junção entre torres metálicas e a base das torres.

A localização dos aerogeradores tem decisão definida pela capacidade de geração e direção de ventos dominantes, não é de natureza geotécnica. Em muitas situações, as bases das turbinas se localizam em antigas lavouras de arroz ou camaroneiras, com a presença de materiais de baixa resistência, ou regiões de difícil acesso, dificultando desde a investigação do subsolo até a implantação das estruturas.

4. INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO

Da mesma forma como em outras situações de elaboração de solução de fundações, o conhecimento das condições do subsolo onde serão implantados os aerogeradores é elemento fundamental para a obtenção de sucesso, técnico e econômico.

Apresentaremos, para comparação de procedimentos, as indicações existentes nas diferentes práticas e recomendações, uma vez que, em muitas situações, os fabricantes das turbinas se defrontam com situações conflitantes face às diferenças entre a prática brasileira e aquelas com as quais estão acostumados, usuais em seus países de origem ou regiões de atuação. Além das características de ocorrência dos perfis de subsolo, é sempre enfatizada a necessidade de identificação do nível do lençol freático e sua variação sazonal, pela importância de sua atuação na estabilidade das fundações.

4.1 INDICAÇÕES GERAIS EXISTENTES NAS DIFERENTES PRÁTICAS

- *Experiência francesa:* as recomendações do documento “*CFMS. Recommendations sur la conception, le calcul, l’exécution et le contrôle des fondations d’éoliennes (2010)*” indicam duas etapas: a) Preliminar: 1 sondagem geotécnica para cada grupo de 6 bases, complementada por sondagem geofísica; b) Definitiva: 1 sondagem no centro de cada base, complementada por 2 ou 3 nos extremos da base para estudar a heterogeneidade;
- *Experiência norueguesa (Veritas):* as recomendações do Bureau Veritas – “*Guidelines for Design of Wind Turbines – DNV/RisØ*” - indicam campanhas completas de investigação, incluindo aí o uso de levantamentos Geológicos, uso de procedimentos Geofísicos e Geotécnicos, etapas com ensaios de campo (uso de CPT compulsório) e laboratório (ensaios cíclicos para o projeto de fundações diretas);
- *Experiência americana:* de acordo com o documento “*Recommended Practice for Compliance of Large Onshore Wind Turbine Support Structures, AWEA/ASCE, 2011*”, podem ser ensaios de SPT, Cone (CPT), dilatômetro (DMT) e ensaios de laboratório para caracterização de comportamento; indica os ensaios geofísicos como complementares;
- *Prática do Brasil:* a experiência de caracterização do comportamento do subsolo para solução de fundações para o caso de parques de aerogeradores é a mesma utilizada para fundações correntes: usualmente, é limitada a 1 ou 2 sondagens de simples reconhecimento (SPT) por base; eventualmente, sondagens mistas em solo e rocha, quando da ocorrência de maciços rochosos a pequena profundidade; e, em raros casos, ocorre a realização de ensaios especiais, quando da necessidade de obtenção de módulos para dimensionamento de fundações superficiais, ou

caracterização de possível colapsibilidade ou expansibilidade dos materiais.

4.2 PROFUNDIDADE DE INVESTIGAÇÃO

■ Prática da França:

- Para soluções em fundações diretas $D \geq 1,5 \emptyset$ da base (tipicamente \emptyset da base > 18 m);
- Para soluções em estacas = 5 m abaixo da ponta das estacas ou $7 \emptyset$ das estacas (normalmente não se conhece a solução de fundações nesta etapa, sendo, portanto, difícil a implementação desta recomendação).

■ Prática da Noruega:

- Para fundações diretas: $D \geq 1,0 \emptyset$ da base;
- Estacas = 20 a 30 m (com ensaios de CPT sempre!!!).

■ Prática dos Estados Unidos:

- Para fundações diretas: $D \geq 1,0 \emptyset$ da base;
- Estacas = 20% a mais do comprimento projetado das estacas.

■ Prática no Brasil:

- Tipicamente, sondagens de simples reconhecimento (SPT) $L > 35$ m em solos de baixa resistência, mínimo 15 m em materiais de alta resistência em sondagens mistas em solo e rocha (alteração de basalto, rochas brandas típicas do nordeste);
- Em raros casos, é usada a geofísica para definição de presença de topo rochoso e/ou sísmica para definição de módulos, nos casos de projetos de fundações diretas.

4.3 DESAFIOS

- Elaboração de programa de investigação que caracterize as condições do subsolo de forma a permitir não só a escolha de sistema de fundações como seu dimensionamento;
- Garantia de real representatividade dos dados obtidos no programa de investigação, muitas vezes realizado antes da participação do projetista de fundações em locais de difícil acesso e com serviços muitas vezes não fiscalizados ou supervisionados;
- Caracterização das eventuais situações especiais de colapsibilidade ou expansibilidade dos materiais do subsolo;
- Identificação da presença do lençol freático e da possibilidade de sua variação ao longo da vida útil do projeto, pela importância da consideração da real contribuição do peso próprio do bloco na estabilidade e carregamento das fundações.

5. CARGAS

As cargas atuantes na base das torres que suportam as turbinas são decorrentes de solicitações de origem diferenciada (vento, ações do rotor e pás, excentricidades, peso próprio, ações sísmicas e considerações de fadiga) e extremamente elevadas, com momentos estabilizadores muitas vezes acima das 10.000 ton.m. Nos casos em que as torres projetadas são metálicas, as cargas verticais significativas são as decorrentes do peso do bloco. Atenção especial merece a questão da possibilidade de que o mesmo esteja submerso,

Tabela 1 – Exemplo de cargas atuantes em base de torre com 120 m de altura

Load	Case	Mx (kN-m)	My (kN-m)	Mxy (kN-m)	Mz (kN-m)	Fx (kN)	Fy (kN)	Fxy (kN)	Fz (kN)	
Mx	Max	6.1j	141954	46698	149437	4836.5	745	-1509.3	1683.1	-17154
Mx	Min	6.1a	-142582	49810	151031	-3335.8	826.3	1510.3	1721.6	-17270
My	Max	1.5v3	1866.6	133464	133477	-2211.6	1377.1	33.1	1377.5	-17378
My	Min	1.5v2	-25141	-137200	139485	-6406.5	-1135.5	300.1	1174.5	-17251
Mxy	Max	6.1a	-142011	51415	151031	-3396.5	852.2	1514.7	1738	-17282
Mxy	Min	8.1ea1	-3.9	-7.95	8.86	401.8	74	6.98	74.3	-19324
Mz	Max	1.5x2	-8994.3	179.2	8996.1	8186.1	195.3	129.2	234.2	-17307
Mz	Min	2.2e	-15284	-51541	53760	-10211	-421.7	158.3	450.5	-14081
Fx	Max	6.1j	81880	108441	135882	3086.2	1427.1	-878.4	1675.7	-17231
Fx	Min	1.5v2	-26106	-136469	138943	-6286.6	-1139.2	326.1	1184.9	-17249
Fy	Max	6.1f	-141637	30134	144808	-3998.7	596.7	1588.4	1696.7	-17317
Fy	Min	6.1j	141943	48929	150140	4875.6	776	-1513.6	1700.9	-17143
Fxy	Max	6.1g	-130988	66743	147011	-3114.9	1032.6	1411.3	1748.8	-17135
Fxy	Min	1.5e1	-219.7	-9111	9113.7	245.9	-0.92	0.34	0.98	-17378
Fz	Max	7.1s31	22385	32298	39297	-602.5	465.4	-306.2	557.1	-13878
Fz	Min	8.1ua7	-397.8	-33989	33992	-37.9	-368.3	3.76	368.3	-19394

Tabela 2 – Ponderações para fundações diretas (recomendação francesa)

Caso de carga	Fatores parciais de ponderação para solicitação*			Superfície comprimida depois da ponderação	
	Estado Limite	F_2	E_{Eau}	M_{xy}	%
DLC _{OP}	ELU _{FOND}	1,0 ou 1,35	1,125 ou 1,05	1,8	50 (**)
	ELU _{PERM}	1,0	1,0	1,0	100
DLC _{Rare}	ELU _{FOND}	1,0 ou 1,35	1,125 ou 1,05	1,5	50 (**)
	ELU _{Rare}	1,0	1,0	1,0	75
DLC _{ACC}	ELU _{Acc}	0,9 ou 1,1	1,0	1,1	50 (**)

* O fator parcial a considerar é o que gera a situação desfavorável; ** Este valor é reduzido para 30% nos tipos de solo.

Tipos de solos conforme Fascículo 62 Título V		% S_{comp} / S_{sem}
Calcário	B ⁺ + C	30
Rochas brandas	A ⁺ + B	30
Rochas	A ⁺ + B	30

alterando completamente a distribuição e natureza das cargas nas fundações, bem como sua estabilidade nos casos de fundações diretas.

A tabela 1 mostra, para diferentes combinações de hipóteses de atuação dos esforços atuantes, os carregamentos a considerar em base de torre com 120 m de altura.

As cargas atuantes nas fundações devem ser avaliadas nas condições de ELS (estado limite de serviço), ELU (estado limite último) e cargas limites de fadiga (para a estrutura do bloco).

Cada fornecedor de equipamento tem indicações específicas referentes à determinação de combinações de carregamento para a obtenção das solicitações ao nível da base do aerogerador, incluindo questões referentes à fadiga e cargas extremas. Nestas considerações ficam incluídas, por exemplo, área mínima de contato de fundações diretas quando da atuação de solicitações do ELS, ELU e fadiga. Nas condições de ELS (estado limite de serviço), alguns fornecedores não admitem nem tração nas estacas, nem regiões não comprimidas, no caso de solução em fundações diretas.

6. TIPOS DE FUNDAÇÃO E VERIFICAÇÕES EM PROJETO

Dentre as soluções mais frequentes de fundações de aerogeradores, podem ser referidas as seguintes:

- **Diretas:** Radier em placa única. Como na grande maioria de soluções de fundação, esta é sempre a primeira a ser cogitada, não somente por sua economia, mas também pela possibilidade de inspeção e liberação do material sobre o qual estarão sendo aplicadas as cargas e execução

sem equipamentos especiais ou fornecedor especializado (tipicamente da ordem de 18 a 25 metros de diâmetro, dependendo das cargas e características do subsolo).

- **Estaqueadas:** blocos de fundação com estacas verticais ou inclinadas. Nos casos frequentes em que não ocorre horizonte com adequado comportamento em profundidade conveniente, ou a implantação do parque prevê aterros na posição das torres, são projetadas fundações em estacas. As mesmas poderão ser verticais ou inclinadas, dependendo da natureza das camadas e requisitos de desempenho da base. Alguns fabricantes de turbinas têm determinação explícita referente ao uso de estacas inclinadas compulsoriamente para limitar deslocamentos. Bases tipicamente com 16 a 24 metros de diâmetro suportadas por número de estacas variável entre 16 e 48 unidades, dependendo das cargas atuantes.
- **Especiais:** identificadas como aquelas que não se enquadram nas acima referidas. No Brasil: fundações diretas com ancoragem (tirantes) para suportar tração. Na Europa: bases em fundações diretas sobre solo tratado ou colunas de brita (ampla referência a esta solução na publicação “CFMS. Recommendations sur la conception, le calcul, l’exécution et le contrôle des fondations d’éoliennes (2010)”.

6.1 ESCOLHA DO TIPO (ALTERNATIVAS)

A opção ideal é aquela em que todas as fundações de um parque são idênticas, resultando em facilidade construtiva e de sequência das operações. A opção de solução deve

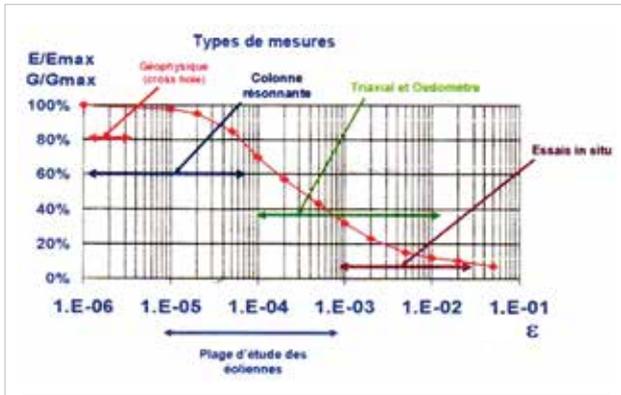


Figura 3 – Níveis de deformação e diferentes formas de obtenção de módulos

atender à segurança, custos e velocidade construtiva, além de requisitos específicos característicos da área profissional, a saber:

- Os diferentes fornecedores de equipamento têm diferentes requisitos e práticas (GE, Wobben, Gamesa, Enercon, IMPSA) referentes a soluções “aceitáveis ou certificadas”;
- Características, como velocidade de execução, confiabilidade da solução, custos reduzidos, certificação e rastreabilidade do sistema, são itens fundamentais na escolha;
- Quando possível, no caso de fundações em estacas, usa-se bloco de mesma geometria com fundações profundas com diferentes profundidades e número, função da presença das camadas resistentes nos perfis de subsolo;
- As fôrmas de bloco são metálicas, com mesma geometria, reaproveitáveis, típicas de situações com repetição de solução;

- Extremamente importante é a previsão de execução sequencial, para facilitar montagem do sistema estacas, bloco, torre, turbinas;
- É oportuno referir que os contratos entre os diversos participantes do projeto (proprietário, construtora, fornecedor de equipamentos, governo) têm condições com muitas elevadas relativas a prazos de entrega das torres (base e torre propriamente dita) e fornecimento dos equipamentos, além do início de geração de energia pelo parque (Esta condição impacta na escolha de solução e sua eficiência garantida, pelas implicações contratuais inerentes a necessidades de reforços ou garantia de segurança).

6.2 FUNDAÇÕES DIRETAS: VERIFICAÇÕES

Nos projetos de base em Radier (diretas), as verificações que devem ser feitas se referem aos seguintes aspectos:

- Segurança à ruptura (tensões admissíveis), em geral não é o aspecto preponderante (recomendação de $FS > 3$);
- Segurança ao tombamento, em geral resultando em bases de dimensões avantajadas (recomendações de $FS > 1,5$);
- Segurança ao deslizamento;
- Recalques compatíveis, necessitando informações da compressibilidade do solo, com verificações referentes sobre efeitos no comportamento geral da base e torre sob operação;
- Efeitos do carregamento repetido (degradação do solo sob carregamento cíclico)- item com baixíssimo conhecimento na prática de fundações do Brasil, necessitando ensaios não usuais em nossa prática (motivo possível da adoção de solução em Radier somente nos casos de ocorrência de

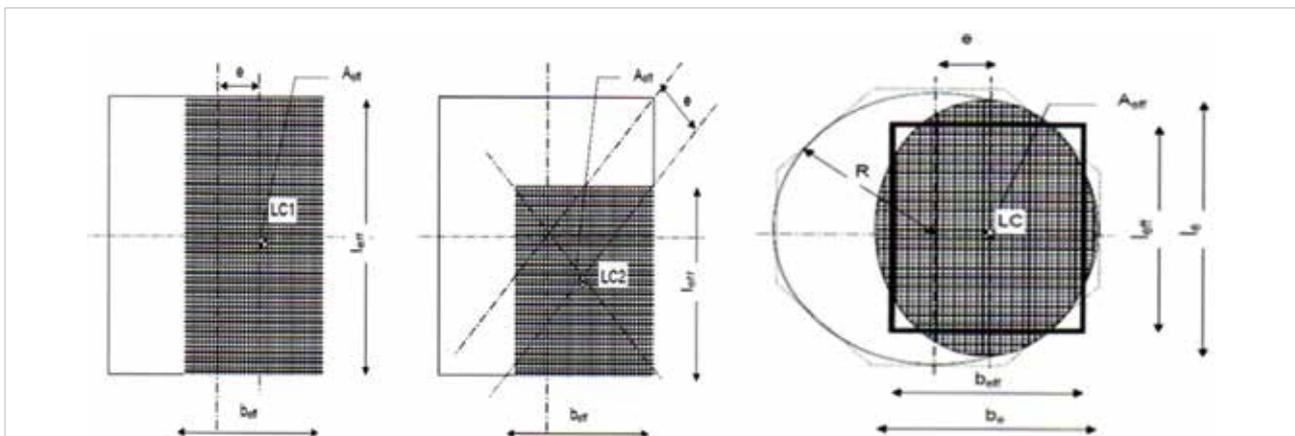


Figura 4 – Áreas equivalentes para os casos de excentricidade de carregamento

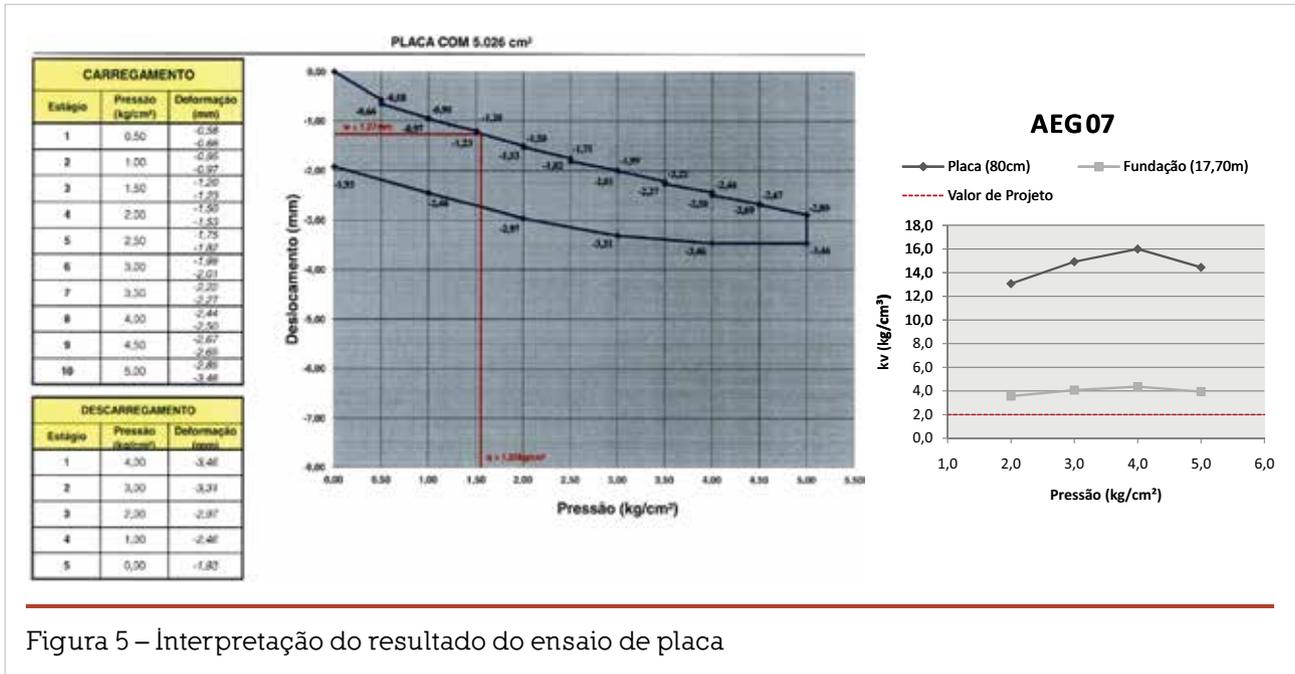


Figura 5 – Interpretação do resultado do ensaio de placa

materiais rochosos, caso de rochas brandas e outras mais resistentes em pequena profundidade);

- Segurança à erosão;
- Efeito da ação da água (subpressão) no peso do bloco a ser considerado no projeto.

Para a avaliação dos efeitos das cargas repetidas x fadiga x deslocamentos, é necessária a determinação (não a estimativa obtida por correlação) do módulo elástico do solo, cujo valor é variável em função do nível de deformação (caso do problema em estudo) e da forma de determinação, como mostrado de forma esquemática na figura 3.

Para o carregamento excêntrico (ação dos momentos elevados), são utilizadas as áreas equivalentes, como mostrado na figura 4.

No caso de utilização de ensaio de placa para a determinação do coeficiente de recalque, para dimensionamento de fundações diretas, é necessário levar em conta a questão de escala entre o ensaio e a fundação real, na forma indicada na figura 5.

Interpretação:

$$K_1 = \frac{P}{y} \quad [1]$$

Onde:

K1 = coeficiente de recalque;

P = pressão aplicada;

y = deslocamento associado à pressão aplicada.

$$K_s = K_1 \left(\frac{B_1 + B}{2B} \right)^2 \quad [2]$$

Onde:

K1 = coeficiente de recalque;

Ks = coeficiente de recalque para a fundação;

K1 = coeficiente de recalque para a placa;

B1 = diâmetro da placa;

B = diâmetro da fundação.

É importante referir que ocorrem regiões sísmicas no Brasil como indicado na figura 6, com normalização específica (norma ABNT NBR 15421/2006 Projeto de estruturas resistentes a sismos – procedimento)

6.3 FUNDAÇÕES EM ESTACAS: VERIFICAÇÕES

Depois de realizada a escolha da opção de fundação profunda (tipo de estaca), em função do nível de carregamento, características dos perfis típicos do subsolo e sua compatibilidade e exequibilidade construtiva, custos, equipamentos disponíveis, prazos necessários, os carregamentos em compressão, tração e horizontal devem ser objeto de análise. Além desses aspectos, a rigidez das estacas deve ser fornecida ao projetista estrutural para que seja feita a avaliação dos deslocamentos da solução (efeitos da rigidez das estacas, bloco e

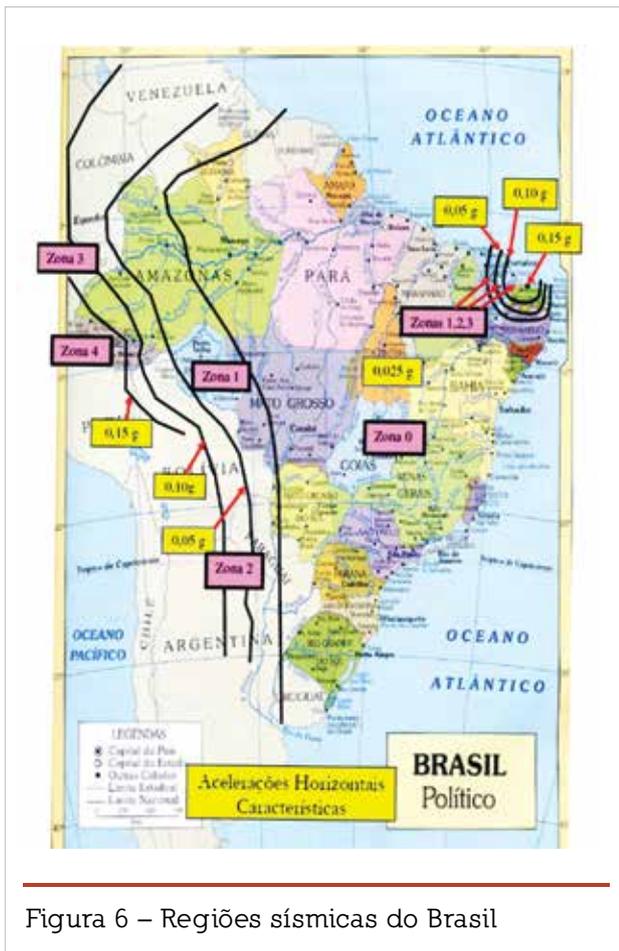


Figura 6 – Regiões sísmicas do Brasil

torre nos deslocamentos do conjunto).

São feitas as verificações em tração e compressão nas estacas no caso ELU, com vários fornecedores exigindo a condição “sem tração” nas estacas no caso ELS.

A recomendação da França: todas as cargas (horizontais especialmente) nas estacas, sem a contribuição do empuxo passivo no bloco e atrito da base.

Alguns fabricantes de equipamento têm padrões básicos de solução (tamanho de bloco, nº de estacas, geometria, obrigatoriedade de utilização de estacas inclinadas) ou soluções certificadas, além de imposição de cumprir especificações, tais como:

- Posição de solda (distância mínima) em estacas metálicas ou pré-moldadas em relação à base do bloco;
- Vinculação de estacas no bloco (metálicas);
- Veto a tipos de estacas (hélice contínua monitorada, por exemplo).

Para análise e projeto do bloco, dados a serem fornecidos pela geotecnia para o projetista estrutural, como detalhado na figura 8, referem-se a:

- Propriedades do solo;
- Condições do lençol freático;
- Agressividade do meio (pH da água);
- Coeficiente de recalque do solo, módulos do solo em determinados níveis de deformação para fundações diretas;
- Rigidez das estacas nos casos de fundações profundas, considerando cargas verticais e horizontais.

6.4 CONTROLE EXECUTIVO

O projeto de fundações deve prever de forma detalhada os itens de avaliação e controle, de forma a garantir a execução de fundações que atendam às necessidades de qualidade e desempenho das mesmas. Exigências contratuais e de seguro normalmente exigem a comprovação da rastreabilidade dos elementos executados, bem como a conformidade com a normalização.

6.5 LIBERAÇÃO DOCUMENTADA

Deve ser estabelecido na etapa de projeto um programa de comprovação das premissas de projeto e controle construtivo, com liberações em etapas, após o conhecimento das reais condições executivas, especialmente quando diferentes daquelas especificadas em projeto.

- **Fundações em Radier:** caso de apoio em solo, necessariamente deve ser feita prova de carga em placa para comprovação da condição de módulo do solo na cota de implantação. Alternativamente, poderá ser feito ensaio

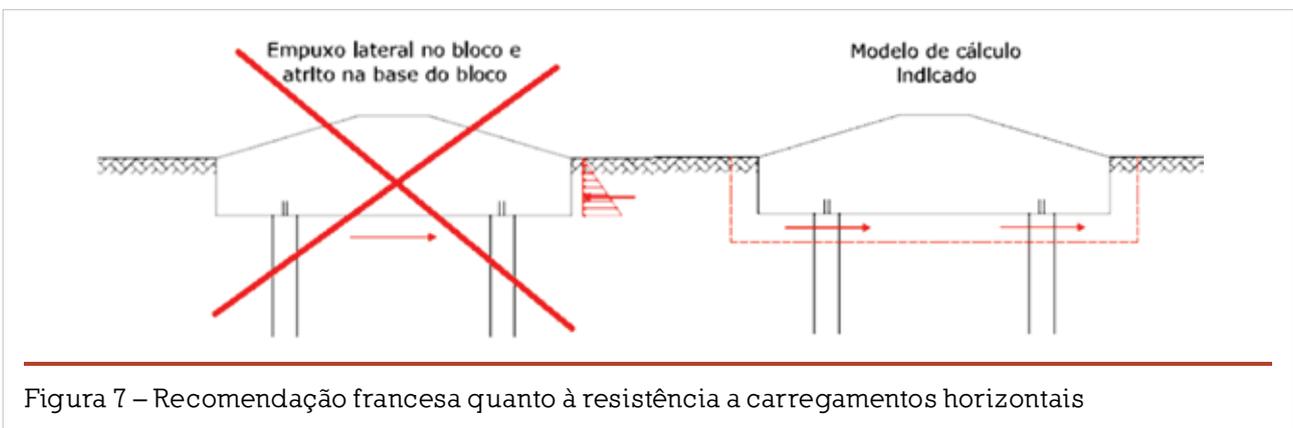
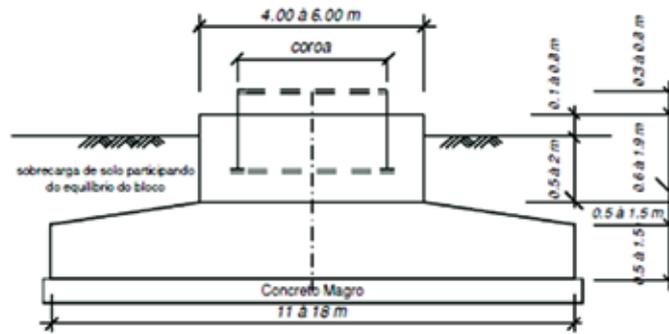


Figura 7 – Recomendação francesa quanto à resistência a carregamentos horizontais

Dados geotécnicos necessários ao dimensionamento do bloco de fundação de aerogeradores



Corte de um bloco de fundação superficial

Tensões admissíveis e níveis de assentamento

- nível de assentamento da fundação m/TN
- tensões admissíveis média do solo (ELS / ELU) / Mpa

Estudo hidrológico

- nível de água excepcional (máximo) do Lençol Freático (N.A.) m/TN
(o nível da água encontrado no momento das sondagens não é suficiente)
- Estudo da agressividade da água do Lençol Freático, no caso de contato com a fundação
- Estudo de agressividade do solo

Características do aterro (solo de sobrecarga)

- densidade do aterro servindo de lastro sobre a fundação KN / m³

Dados dinâmicos

- coeficiente de Poisson
- E dyn (dinâmico) Mpa
- G dyn (dinâmico) Mpa
- Análise dos riscos de liquefação do solo de base

Estes parâmetros serão dados para a camada equivalente (e não para as diferentes camadas).

Dados elásticos

- Modo de reação kv Mpa/m
(para a modelagem em Elementos Finitos)
- ângulo de atrito °
(para o cálculo da resistência ao deslizamento)

Estes parâmetros serão dados para a camada equivalente (e não para as diferentes camadas).

Cargas admissíveis das estacas no caso de fundações profundas

- Cargas admissíveis em ELS e ELU em arrancamento, em compressão e em esfoço horizontal.
(± N et H concomitantes)
(para a determinação da quantidade de estacas e de sua implantação)

A investigação geotécnica deverá ser realizada pela empresa responsável pela sondagem para a fundação de cada aerogerador.

Os valores definitivos de σ_s - E dyn - G dyn e Kv deverão ser confirmados pelo engenheiro geotécnico, após o pré-dimensionamento da fundação.

A liberação das escavações para as futuras fundações deverá ser realizada pela empresa de geotecnia para cada uma das fundações. Em cada uma destas liberações, um relatório escrito deverá ser transmitido a cada uma das empresas envolvidas no projeto.

Figura 8 – Exemplo de dados necessários para dimensionamento do bloco

tipo CPT “calibrado” com relação à condição de projeto.

- **Fundação em estacas:** desejável a liberação em etapas, de forma a permitir a adoção de providências naqueles casos de “não conformidade”.

Fase 1: Registro construtivo – liberação para arrasamento das estacas, após verificação das condições construtivas (negas em estacas cravadas, registros do monitoramento nas estacas Hélice Contínuas, registros construtivos em estacas raiz);

Fase 2: Com as estacas arrasadas, verificação de dados, como as excentricidades, resistência do concreto, posicionamento das armaduras, outros detalhes construtivos, liberação para ensaios nos elementos ao nível da base dos blocos;

Fase 3: realização de ensaios nas estacas executadas, para comprovação de integridade (PIT), realização de provas de carga estáticas (PCE) e ensaios dinâmicos (PDA), de acordo com a ABNT NBR 6122/2010 (Norma de Projeto e Execução de Fundações), para a determinação do comportamento das fundações em estacas, ensaios nos tirantes, quando esta for a solução, e liberação para execução dos blocos.

projeto, podem ser descritos como:

- Conhecer previamente todos os requisitos técnicos a serem cumpridos pelas fundações, as cargas identificadas nas condições para as quais as fundações devem ser dimensionadas (resultantes do cálculo estrutural), as especificações dos possíveis sistemas ou soluções certificadas, se existentes, e demais exigências dos fabricantes;
- Identificar a solução segura que atenda a todos os condicionantes geotécnicos e de desempenho necessário, definidos pelos fabricantes de turbinas, que seja ao mesmo tempo econômica, rápida na execução e de custo compatível;
- Escolher somente dentre as soluções com equipamentos e executantes disponíveis, com características comprovadamente aceitáveis pelos fornecedores de equipamento do parque;
- Quando ocorre variabilidade de condições geotécnicas (perfis de subsolo com características muito diferentes), identificar áreas com condições similares e projetar as fundações adequadas para cada área, não utilizando soluções inadequadas somente pela condição de ser possível sua utilização em todo o parque, sem atender aos demais quesitos desejáveis (usualmente prazos construtivos e custos reduzidos);

6.6 DESAFIOS DA ETAPA DE PROJETO

Os desafios de uma solução, considerando a etapa de

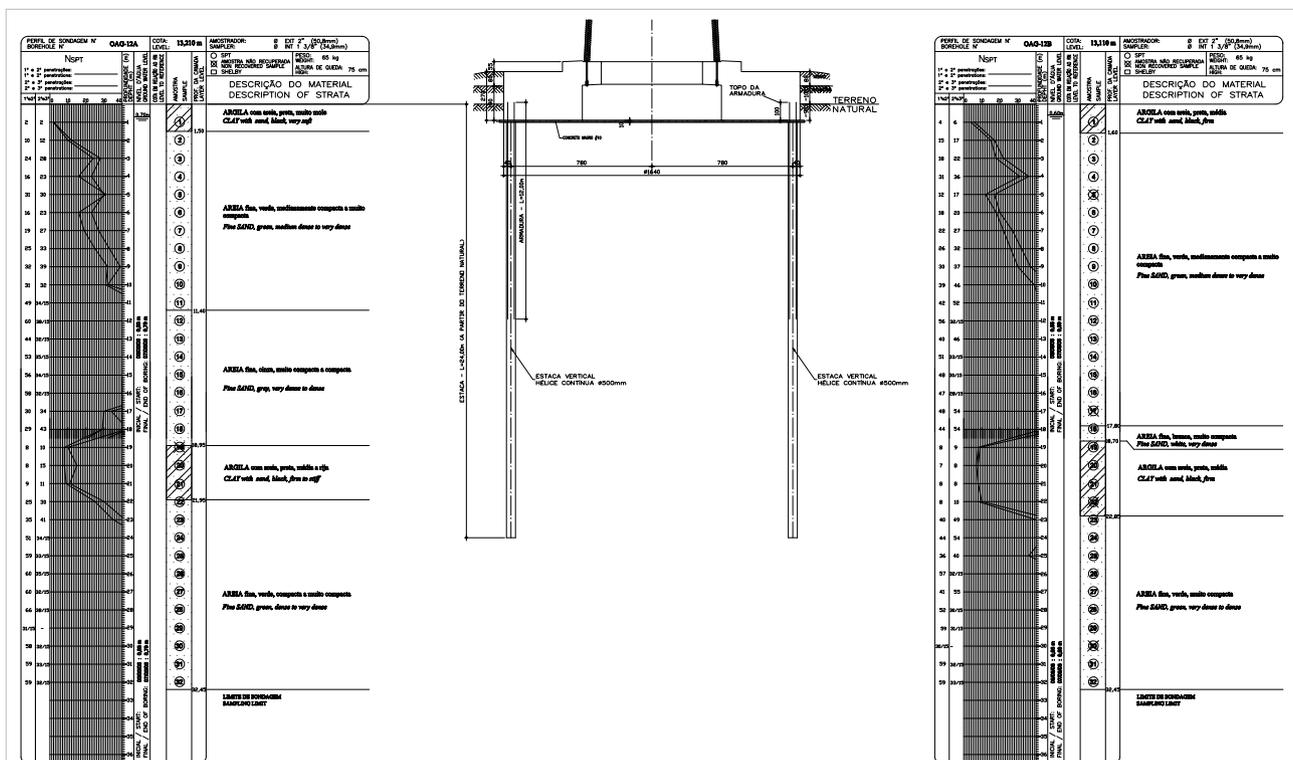


Figura 9 – Caso de obra com solução em estacas hélice contínua

- Identificar as propriedades geotécnicas necessárias para o dimensionamento seguro do sistema escolhido;
- Definir de forma inequívoca a condição de execução de cada base, sem a adoção de soluções “padrão” não compatíveis com as características ou do processo construtivo ou da variabilidade dos perfis do subsolo;
- Especificar de forma clara os itens de fiscalização e controle, definindo ensaios e demais procedimentos para a rastreabilidade e garantia de desempenho seja obtida e documentada.

7. EXEMPLOS DE OBRAS PROJETADAS

7.1 CASO 1 – SOLUÇÃO EM ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA VERTICAIS EM OBRA NO LITORAL DO RIO GRANDE DO SUL

A figura 9 mostra os perfis característicos de sítio no Rio Grande do Sul, com a presença de materiais moles em profundidades variáveis. Foram executadas duas sondagens de simples reconhecimento e um perfil em Cone por base, com a finalidade de melhor caracterização da variabilidade das condições do subsolo. A solução que melhor atendeu às características de carregamento e de subsolo, bem como necessidades de prazos executivos, foi a de estacas Hélice Contínuas com 60 cm de diâmetro, armadura de 12 metros para suportar as cargas

de tração, com comprimentos variáveis entre 14 e 27 metros. As estacas foram ensaiadas em provas de carga estáticas e ensaios dinâmicos e tiveram comportamento seguro.

7.2 CASO 2 – SOLUÇÃO EM ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA LONGAS, CURTAS E ESTACAS RAIZ EM PARQUE NO NORDESTE

As figuras 10, 11 e 12 mostram os perfis característicos de sítio no Nordeste, com a presença de materiais de alta resistência em profundidades variáveis.

A preferência do cliente foi a de usar, sempre que tecnicamente cabível, solução em Hélice Contínua (HC). Nas situações onde tal opção não era exequível, foram projetadas estacas Raiz. Face às características dos três grupos de perfis, do ponto de vista de presença da camada resistente, naquelas situações onde a capacidade de carga mobilizável pelas estacas HC era elevada, utilizou-se 16 estacas no bloco. Onde as profundidades atingidas na execução das estacas não mobilizava a carga decorrente da situação de 16 estacas, projetou-se 32 estacas, com a mesma geometria de bloco.

Somente nas situações onde as estacas HC eram inexequíveis (muito curtas sem adequada capacidade de carga), foram projetadas estacas Raiz, capazes de atingir profundidade competente para a transferência de cargas, ainda com o mesmo bloco.

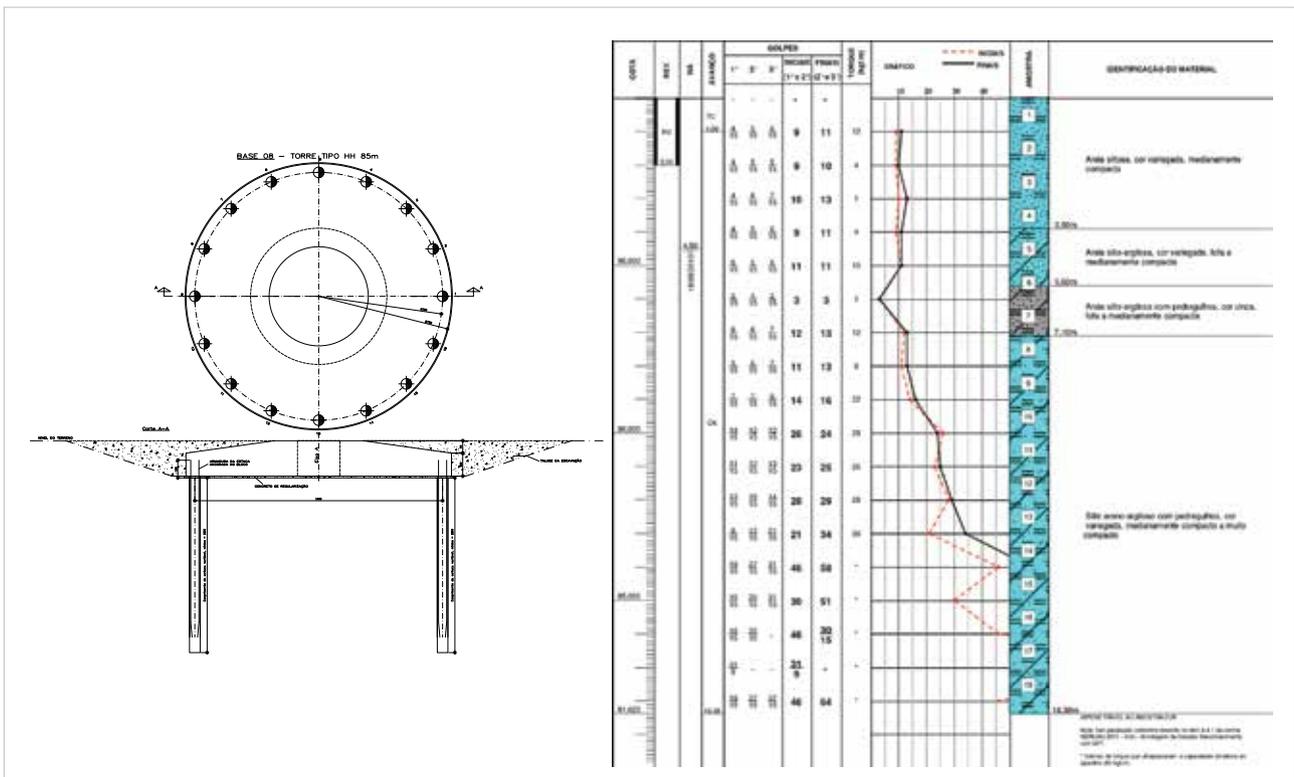


Figura 10 – Solução em 16 estacas Hélice Contínua, em perfis mais profundos, com estacas com maior carga

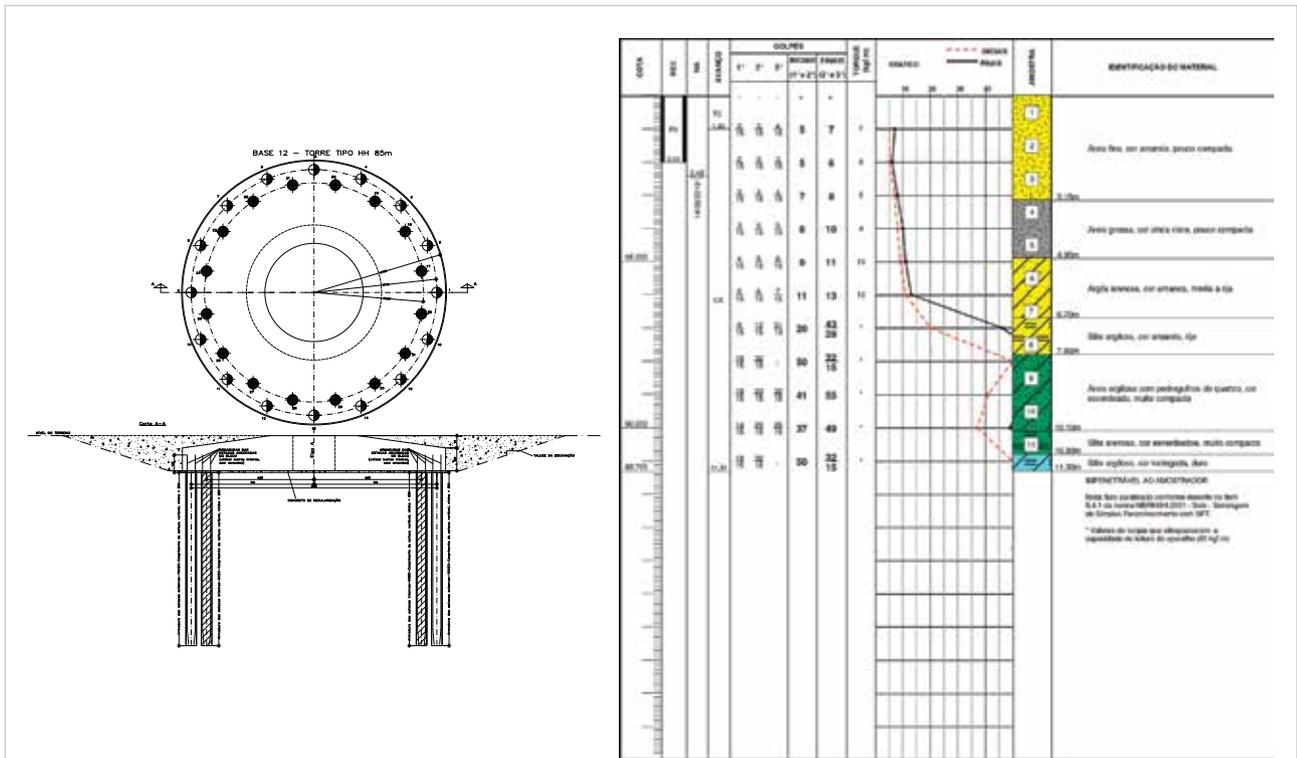


Figura 11 – Solução em 32 estacas Hélice contínua, onde a profundidade executiva era limitada, com estacas transferindo menor carga ao subsolo

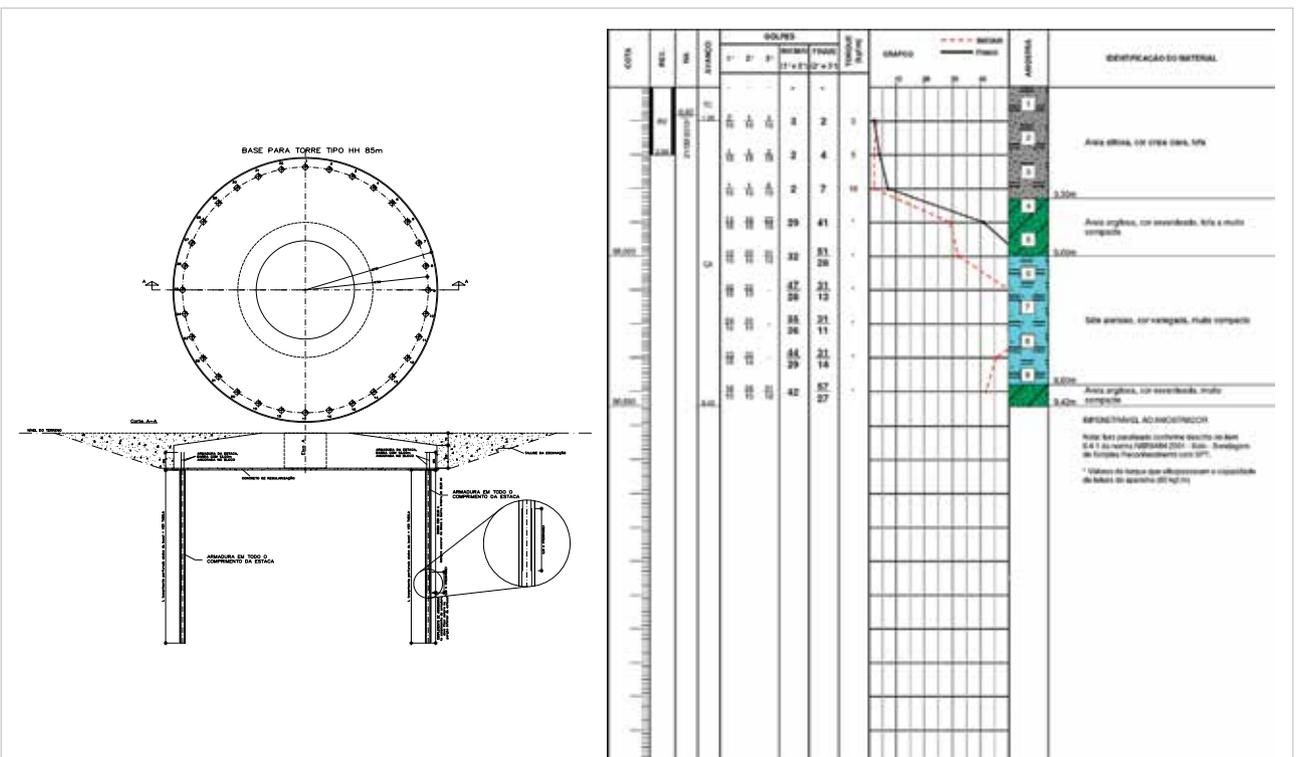


Figura 12 – Solução em 32 estacas Raiz, naqueles casos em que a profundidade executiva das estacas Hélice era insuficiente, mesmo para cargas reduzidas

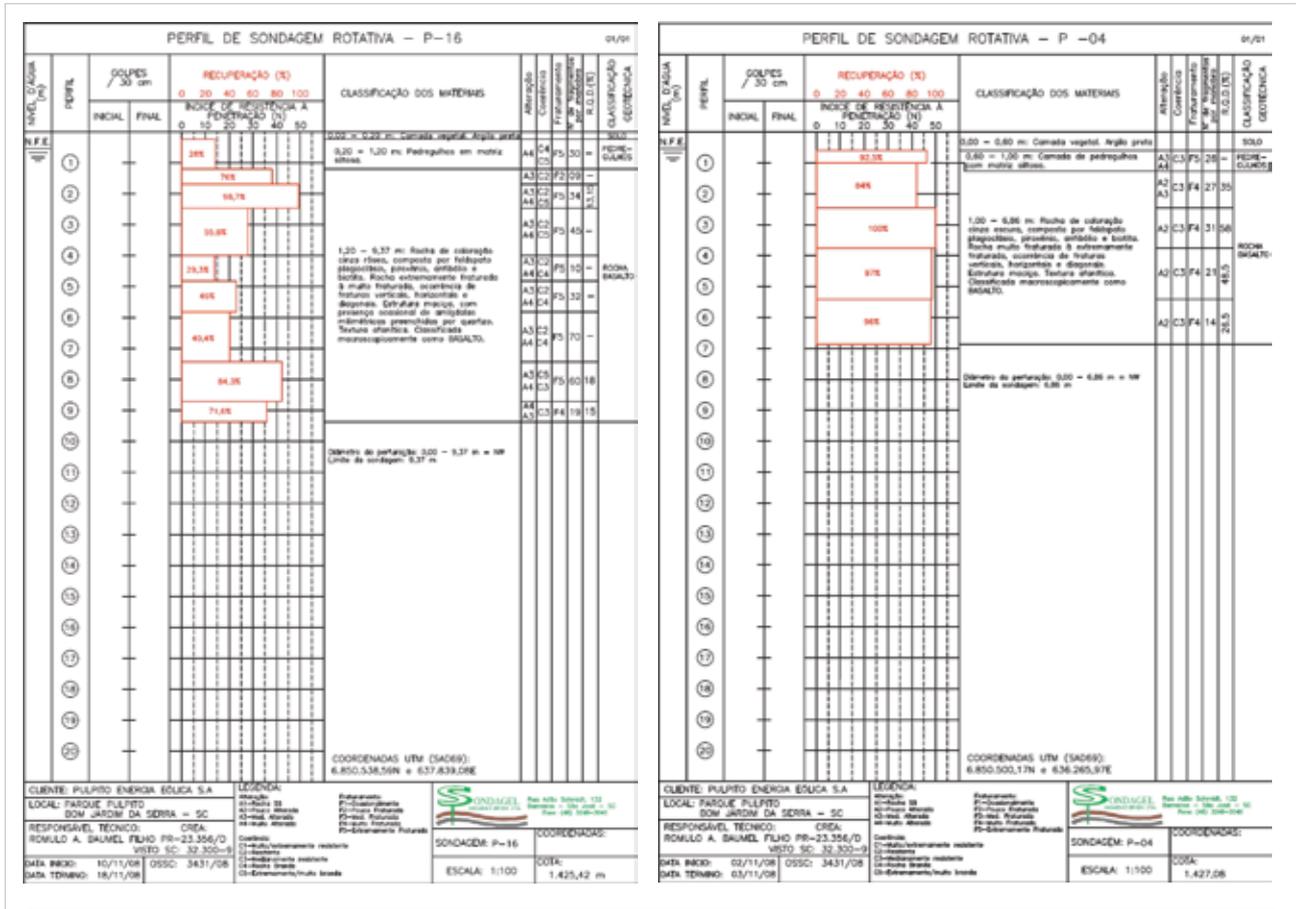


Figura 13 – Sondagem para obra com solução em sapata atirantada

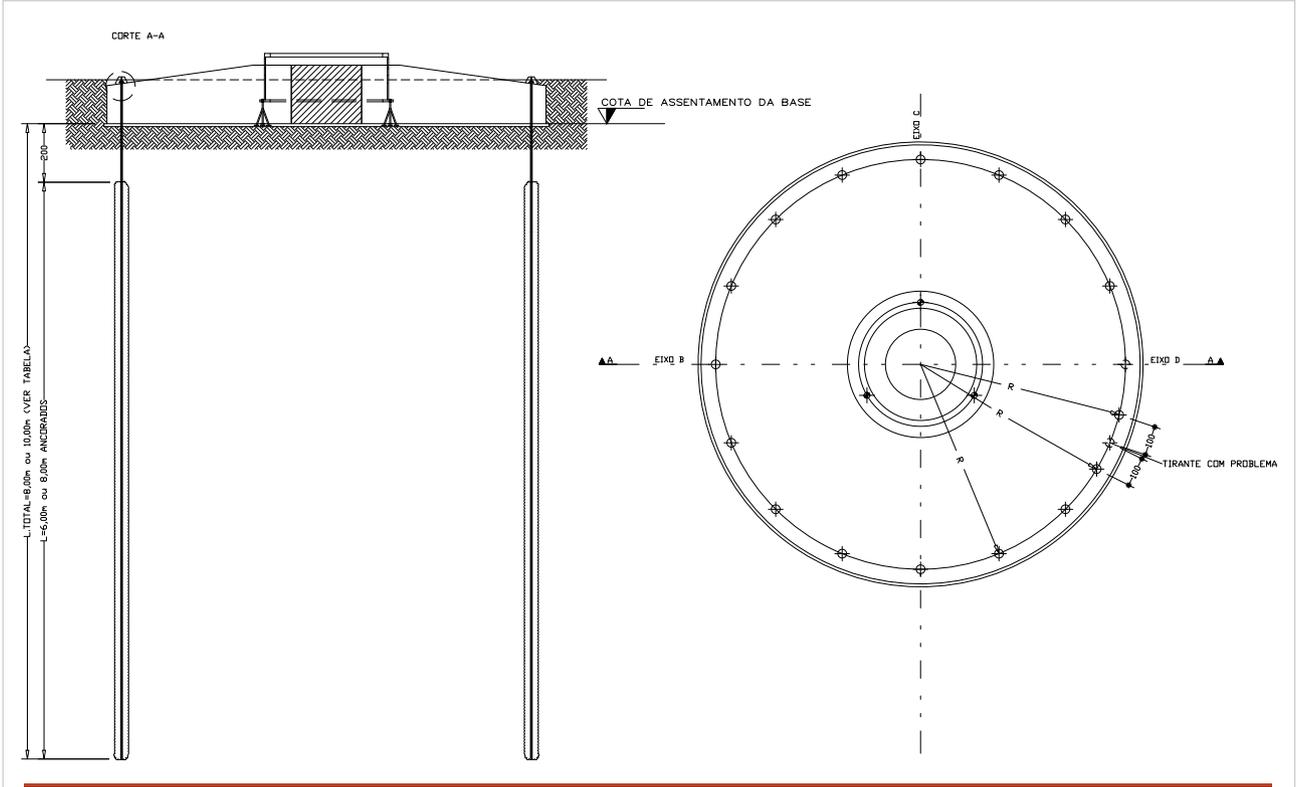


Figura 14 – Caso de obra com solução em sapata atirantada

Desta forma, soluções mais rápidas na execução de menor custo foram utilizadas onde possível, e solução mais lenta, mais cara, mas segura do ponto de vista de desempenho, utilizada somente nos locais onde a solução ótima não foi possível.

As diferentes soluções tiveram comprovação de desempenho em ensaios de acordo com a ABNT NBR 6122-2010.

7.3 CASO 3 – SOLUÇÃO EM FUNDAÇÕES DIRETAS ATRANTADAS EM SANTA CATARINA

A figura 14 mostra solução em fundações diretas com tirantes, para prover capacidade nas solicitações de tração, em locais com a presença de perfis característicos de basalto alterado.

8. COMENTÁRIOS FINAIS

Esperamos ter contribuído com a apresentação deste material para o aprimoramento da prática profissional, mostrando aspectos do conhecimento e experiência necessários para a boa condução dos problemas associados às necessidades dos projetos e execução de fundações dos parques de aerogeração, as diferentes especificações dos fornecedores e práticas vigentes nos locais de origem dos mesmos.

São desafios de natureza especial, que trazem uma satisfação extrema e uma realização profissional única. As referências indicadas servem como contribuição à divulgação do conhecimento específico da área.

Referências Bibliográficas

- [01] Noruega – Bureau Veritas – “Guidelines for Design of Wind Turbines – DNV/RisØ”;
- [02] França – “CFMS. Recommendations sur la conception, le calcul, l’exécution et le contrôle des fondations d’éoliennes (2010);
- [03] Norma ABNT NBR 15421/2006 – Projeto de estruturas resistentes a sismos – procedimento;
- [04] Estados Unidos – Recommended Practice for Compliance of Large Onshore Wind Turbine Support Structures, AWEA/ASCE, 2011;
- [05] WOB BEN / GE / ENERCON / GAMESA / IMPSA – Technical Specifications, Foundations, Geotechnical Design. ●

Conheça as soluções MC para construção, recuperação e proteção de Torres Eólicas.

Aditivos Superplastificantes PCE | Desmoldantes para Fôrmas
Sistemas de Proteção Flexíveis | Sistemas para Consolidação das Peças

A construção e manutenção das torres de energia eólica demandam atenção especial em dois quesitos: produtividade e durabilidade. Além do reconhecido suporte durante o projeto e aplicação, a MC conta com soluções especialmente desenvolvidas para cada etapa construtiva e de manutenção das torres, com destaque para linha completa de aditivos para concreto, utilizados principalmente nas bases, fundação e fabricação da estrutura, para os grautes de alto desempenho, indicados para montagem das peças e para os sistemas de proteção que permitem a estrutura resistir as mais diversas agressividades. Conheça mais sobre nossas soluções através do site: www.mc-bauchemie.com.br

MC-Bauchemie - Innovation in building chemicals

Aditivos para Concreto | Produtos de Obra | Sistemas de Injeção | Impermeabilização e Proteção | Recuperação Estrutural | Pisos Industriais



Qualidade do concreto do Parque Eólico de Casa Nova

MARLON DE BARROS CAVALCANTI – MESTRE
CLAUDIO LUIZ DE CARVALHO – ENGENHEIRO
ALLAN DE OLIVEIRA BORBA – ENGENHEIRO
ALBERTO JORGE COELHO TAVARES CAVALCANTI – ENGENHEIRO
CHESF – COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO

TIBÉRIO WANDERLEY CORREIA DE OLIVEIRA ANDRADE – MESTRE
TECOMAT – TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO E MATERIAIS

PAULO HELENE – PROFESSOR TITULAR
USP, PhD ENGENHARIA

1. INTRODUÇÃO

Diversificando seu parque gerador, a Chesf está construindo o Parque Eólico de Casa Nova, que terá uma potência instalada de 180MW com 120 unidades de 1,5MW, localizado no Município de Casa Nova, Estado da Bahia, na borda do reservatório da barragem de Sobradinho.

O fornecimento, construção e montagem estão a cargo do Consorcio Ventos de Casa Nova, constituído pelas Empresas Wind Power Energia S. A., Dois A Engenharia e Tecnologia Ltda. e I M Comercio e Terraplenagem Ltda.

Os aerogeradores têm bases de fundação direta de concreto armado convencional e torres pré-fabricadas de concreto protendido autoadensável curado a vapor, com 50MPa, considerado concreto de alto desempenho. As torres são compostas por cinco tramos de 20m cada, totalizando 100m de altura, sendo, na seqüência de elevação, dois tramos com quatro aduelas, um tramo com três aduelas e dois tramos com duas aduelas, isto é, 15 aduelas por torre. As aduelas e os tramos são unidos por armaduras passivas grauteadas in loco. As torres têm forma tronco cônica com diâmetro externo variando de 7,04m na base a 2,65m na parte superior e espessura de parede entre 16cm e 20cm.

A Engenharia do Proprietário foi executada diretamente pela Chesf e inclui a certificação do projeto executivo das

bases de fundação e o controle de qualidade da construção das bases e torres pré-fabricadas. No controle tecnológico do concreto, além dos ensaios de resistência à compressão, fluidez, coesão e segregação, foram ensaiados os agregados graúdo e miúdo para verificação da potencialidade de reação álcali-agregado, assim como foram adotadas medidas preventivas. Para gerenciar a durabilidade das torres foram realizados ensaios acelerados de carbonatação e cloretos.

2. ANÁLISE DO PROJETO DAS BASES

A análise dos projetos das bases dos aerogeradores tem como objetivo assegurar a aderência do projeto executivo às especificações técnicas contratuais e sua compatibilidade com as características geotécnicas do terreno de fundação. O projeto executivo das bases foi elaborado pela empresa Esteyco Energia, da Espanha, baseado em normas espanholas e internacionais e compatibilizado com as normas da ABNT durante o processo de análise do projeto.

2.1 CARACTERÍSTICAS DAS BASES

As sapatas de fundação dos aerogeradores estão assentes diretamente no terreno, sendo que cerca de 50% estão assentes em rocha e as restantes em solo arenoso de consistência média a dura com espessura máxima de



Figura 1 – Vista do início da concretagem de uma base

8m. A tensão admissível do solo, considerada no projeto, foi de 0,25MPa.

As bases resumem-se a dois tipos em função da presença do lençol freático. A sapata tipo 1 é utilizada quando o nível do lençol freático está abaixo do nível de apoio da sapata no terreno de fundação. No caso do lençol freático ficar acima desse nível é utilizada a sapata tipo 2:

- **Sapata tipo 1:** Um quadrado inferior com 8,50m de lado, com espessura constante de 1,80m e um quadrado superior com 14,50m de lado com espessura variável de 1,80m a 0,50m;
- **Sapata tipo 2:** Um quadrado inferior com 10,0m de lado, com espessura constante de 1,90m e um quadrado superior com 17,0m de lado com espessura variável de 1,90m a 0,60m.

Sobre as sapatas de concreto armado foi ainda executado um aterro de solo compactado com 40cm de espessura, cujo peso colabora com a estabilidade global da estrutura. O concreto de fundação tem resistência característica de 25MPa aos 28 dias e atende à ABNT NBR 12655:2006, sendo

classificado como de classe II de agressividade ($a/c < 0,60$, consumo de cimento $> 280\text{kg/m}^3$ e cobrimento $> 30\text{mm}$).

2.2 NORMAS UTILIZADAS NO CÁLCULO ESTRUTURAL

Foram utilizadas as seguintes Normas para cálculo:

- EHE-08- Instrucción de Hormigón Estructural;
- Eurocode 2 EN 1992-1-1 Design of concrete structures;
- fib (CEB-FIP) Model Code 1990 e 2010;
- ABNT NBR 6118 - Projeto de Estruturas de Concreto;
- ABNT NBR 6122 - Projeto e Execução de Fundações.

Foram consideradas as cargas gravitacionais e aquelas transmitidas pela torre segundo a IEC-6400-1 da "International Electrotechnical Commission", que regula o projeto de turbinas eólicas. A fundação foi calculada por dois métodos complementares: numericamente por um modelo matemático e analiticamente considerando uma distribuição linear de tensões no solo. A estabilidade global da estrutura foi verificada quanto ao tombamento, deslizamento e a rigidez rotacional dinâmica do solo de fundação.

2.3 MODELO MATEMÁTICO

O modelo utilizado foi o MEF (método dos elementos finitos). A laje foi modelada por elementos de placa, com espessura constante. Na base da torre foi introduzida uma junta tipo master, que é rigidamente conectada com as placas na posição da parede da torre, e no nível inferior da fundação, foi utilizada a junta tipo slave. O modelo consiste de 754 nós, 756 placas e elementos de vigas e 713 apoios do tipo mola somente em compressão. As cargas transmitidas pela torre foram aplicadas nas juntas tipo master-slave. O peso próprio da sapata e do aterro foram considerados automaticamente pelo programa.

Tabela 1 – Composição e propriedades potenciais do concreto

Material/propriedade	Natureza	Quantidade por m ³	Observação
Cimento Portland (kg)	CP-IV-32	305	Poty-Sobral
Areia (A) (kg)	-	840	Dim. máx. 4,8mm
Brita 0 (kg)	-	1036	-
Aditivo plastificante (ml)	Polifuncional	3054	Muraplast FK 101
Água total (litros)	-	183	$a/c = 0,60$
Abatimento (mm)	-	-	120 +/- 20mm
Tipo de concreto	-	-	Bombeável
$f_{ck,28\text{dias}}$ (MPa)	-	-	25MPa

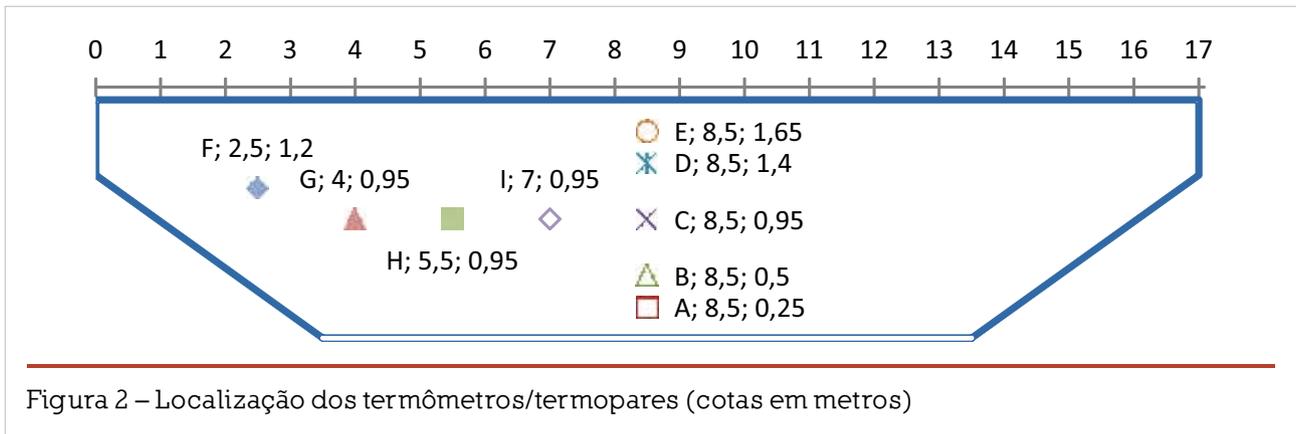


Figura 2 – Localização dos termômetros/termopares (cotas em metros)

3. CONTROLE TÉRMICO DA CONCRETAGEM DAS BASES

De acordo com o projeto, foi empregado concreto classe C25 com resistência característica à compressão de 25MPa, utilizando aditivo plastificante. O consumo médio de cimento das bases do Parque Eólico de Casa Nova foi de 305kg/m³. O concreto tem a composição e as propriedades potenciais apresentadas na Tabela 1.

Foram adotados vários procedimentos durante a execução e lançamento do concreto, bem como monitoramento após concretagem. Dentre eles, destacam-se:

- Pré-refrigeração, que consiste no uso de água gelada e gelo na fabricação do concreto. Foi adotada a substituição de, no mínimo, 27% da água de amassamento por gelo. De modo geral, quanto mais baixa a temperatura do concreto ao passar da fase plástica para a fase elástica, menor a tendência de fissuração;
- Lançamento do concreto foi realizado a uma temperatura máxima de 29°C, para que as temperaturas no interior da estrutura não ultrapassassem 65°C nos pontos críticos. Acima dessa temperatura, há risco de formação de etringita secundária diferida (DEF), que pode induzir expansões deletérias;
- O adensamento do concreto foi executado por vibradores de imersão, incluindo a correta vibração de “costura” na área de contato entre duas camadas sobrepostas, fato que assegura melhor qualidade do concreto;
- O lançamento foi executado em subcamadas, com espessura entre 20 a 25 cm, de forma contínua, até sua cota final;
- Durante a concretagem e adensamento, aplicação de manta de tipo “Bidin” logo após o término do acabamento, combinado com a necessária e permanente aspersão de água tipo spray, devido a elevadas temperaturas am-

bientes, que alcançaram 46°C, ao mesmo tempo que a umidade relativa chegou a ser de apenas 26%;

- Uma vez endurecida a superfície ao toque, cuidados rigorosos com a cura, cumprindo exatamente o especificado em projeto, com aplicação de mantas geotêxtil umedecidas imediatamente após o acabamento do concreto e permanecendo por um período mínimo de 72 horas. Após a cura com manta geotêxtil, a cura foi feita através de inundação da superfície por lâmina d’água, durante um período de, no mínimo, 7 dias;
- Monitoramento da temperatura do concreto em vários pontos críticos.

A Fig. 2 apresenta os locais de instalação dos termômetros embutidos no concreto, para acompanhamento da elevação de temperatura no interior da estrutura.

Para avaliar a elevação de temperatura no interior da estrutura de concreto, foram realizadas leituras iniciais de hora em hora, nas primeiras 24h, e durante os seis dias seguintes, de 3h em 3h, cujos resultados estão apresentados na Fig. 3.

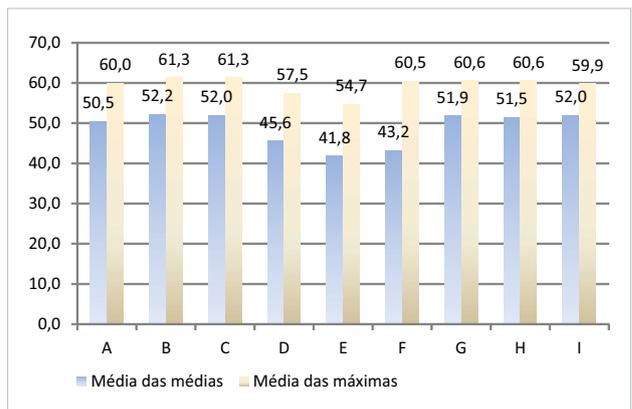


Figura 3 – Temperaturas máximas e médias de 12 bases concretadas

Tabela 2 – Síntese das características gerais da areia

Amostra	Areia natural do porto São Francisco
Cor (seca)	Creme amarronzado
Mineralogia Principal	Quartzo
Mineralogia Subordinada	Fragmentos de rocha (granítica)
Mineralogia Deletéria	< 5% quartzo microcristalino e calcedônia
Grau de arredondamento	Arredondado e subarredondado
Grau de esfericidade	Alta
Alteração	Ausente
Reatividade potencial com os álcalis	Potencialmente inócua
Superfície dos grãos	Polido e fosco

A temperatura máxima registrada foi 61,3°C nas posições B e C no centro da base.

4. PREVENÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

Os agregados utilizados nos concretos das bases de fundação e das torres do Parque Eólico Casa Nova são provenientes de fornecedores instalados na região de Petrolina.

Amostras dos agregados, areia natural e brita foram enviadas para a ABCP para realização de exame petrográfico e ensaio de reatividade acelerada, de acordo com as recomendações da norma ABNT NBR 15577.

As Tabelas 2 e 3 apresentam a síntese das características petrográficas das amostras de areia e brita examinadas. Tanto a areia quartzosa como a brita gnaissica foram classificadas como potencialmente inócuas.

Os resultados do ensaio de reatividade acelerada em barras de argamassa, mostrados na Fig.4, também classificaram os agregados como potencialmente inócuos, segundo o critério da ABNT NBR 15577 (expansão inferior a 0,19% aos 30 dias de idade).

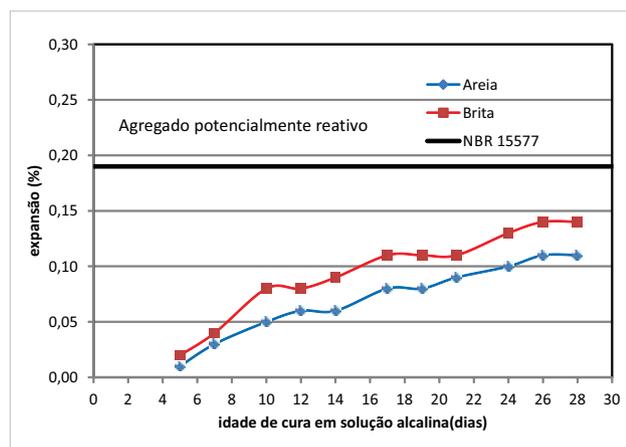


Figura 4 – Gráfico da evolução da expansão com o tempo de cura em solução alcalina

Tabela 3 – Síntese das características petrográficas (Brita 12,5mm - Pedreira Petrolina)

Mineralogia Principal	Quartzo, feldspatos (plagioclásio e microclínio) e biotita
Mineralogia Subordinada	Sericita, anfibólio, titanita, clorita e opacos
Mineralogia Reativa/Deletéria	Quartzo com extinção ondulante (25°): <5%; quartzo microcristalino: <5% e feldspato alterado: >5%
Cor	Cinza clara com faixas claras e escuras
Estrutura	Levemente foliada
Textura	Granulepoblástica
Granulação	Inequigranular – Média a fina
Deformação do agregado	Quartzo deformado (ângulo de extinção ondulante de 25°)
Feldspatos (texturas potencialmente reativas)	Mirmequitas e pertitas: <1%
Quartzo deformado (< extinção ondulante)	<5%
Quartzo microgranular (%)	<5%
Microfissuração	Fraca
Tipo	Brita
Grau de alteração	Rocha pouco alterada
Propriedades físico-mecânicas	Rocha muito coerente
Tipo de rocha	Metamórfica
Classificação petrográfica	Gnaisse
Reatividade potencial	Potencialmente inócua

Todavia, tendo em vista a nota 1 do item 5.3 da referida Norma –“Verificou-se que alguns granitos-gnaisses e metabasaltos são deletérios em serviço embora tenham apresentado, pelo método preconizado pela norma ASTM 1260, valor de expansão abaixo do especificado por aquela Norma (falso negativo)” - e, principalmente, o desempenho em serviço de agregados gnaissicos, apresentados por Silveira et al, foram tomadas ações preventivas preconizadas na seção 7 da ABNT NBR 15577, para uso de agregados potencialmente reativos em concreto.

De acordo com a classificação de medidas preventivas em função do tipo de estrutura, constante da Tabela 1 da ABNT NBR 15577 para estruturas especiais, para a torre (não maciça e seca),pode-se desprezar o risco de problemas, enquanto que para a base de fundação (maciça em contato com água), houve ação preventiva forte, entre as listadas na Tabela 2 da ABNT NBR 15577.

Para as torres de concreto, foi limitado o teor de álcalis no concreto abaixo de 3kg/m³ de Na₂O equivalente e, para as bases de fundação, foi utilizado cimento Portland tipo CPIV.

O cimento usado na superestrutura das torres é do tipo CP V ARI RS, de fornecimento da empresa Mizu (razão social Maré Cimento Ltda), processado em Baraúna/RN, com teor alcalino equivalente em Na₂O de 0,48%(ver Tabela 4).

Tabela 4 – Caracterização química do cimento CP-V ARI RS da Maré Cimento Ltda, Baraúna/RN

Ensaio	Métodos de ensaio	Resultados % em massa
Perda ao Fogo - PF	ABNT NBR NM 18/12	4,68
Dióxido de silício total - SiO ₂	ABNT NBR 14656/01	18,30
Óxido de alumínio - Al ₂ O ₃	ABNT NBR 14656/02	5,46
Óxido de ferro - Fe ₂ O ₃	ABNT NBR 14656/03	3,14
Óxido de cálcio total - CaO	ABNT NBR 14656/04	62,53
Óxido de magnésio - MgO	ABNT NBR 14656/05	1,10
Anidrido sulfúrico - SO ₃	ABNT NBR NM 16/12	3,37
Óxido de sódio - Na ₂ O	ABNT NBR 14656/05	0,02
Óxido de potássio - K ₂ O	ABNT NBR 14656/05	0,70
Óxido de titânio - TiO ₂	ABNT NBR 14656/05	0,25
Óxido de estrôncio - SrO	ABNT NBR 14656/05	0,02
Pentóxido de fósforo - P ₂ O ₅	ABNT NBR 14656/05	0,08
Óxido de manganês - Mn ₂ O ₃	ABNT NBR 14656/05	0,05
Óxido de cálcio livre - CaO(livre)	ABNT NBR NM 13/12	1,69
Resíduo insolúvel - RI	ABNT NBR NM 15/12	3,32
Anidrido carbônico - CO ₂	ABNT NBR NM 20/12	3,41
Equivalente alcalino em Na ₂ O	-	0,48

5. CONTROLE DE QUALIDADE DAS TORRES

5.1 APRESENTAÇÃO DAS TORRES

As torres de concreto são compostas por aduelas pré-fabricadas de concreto auto adensável com fck de 50MPa, armadura passiva em aço CA-50 com Ø6,3mm a 25mm e armadura ativa em cordoalha de 7 fios, engraxada e plastificada correspondente a CP RB 190 de Ø15,2mm.

Um conjunto de 15 aduelas compõe uma torre, que se divide em 5 tramos distintos de 20m, numa estrutura tronco cônica. O 1º e 2º tramos se formam com 4 aduelas em forma de setor com ângulo interno de 90 graus cada, o 3º tramo tem 3 aduelas com ângulo interno de 120 graus e o 4º e 5º tramos têm 2 aduelas cada com angulo interno de 180 graus.

A Fig.5 ilustra o esquema de composição da torre com 100m de altura, onde cada aduela se liga lateralmente por armadura passiva grauteada e na base e topo por armadura passiva, parafusos protendidos e graute. As protensões aplicadas são de 390bars (39MPa) nas cordoalhas e 900bars (90MPa) nos parafusos do tramo 5, com anel metálico de fixação do aerogerador.

A sequência produtiva das aduelas para a formação das torres segue uma linha cronológica na fábrica, desde o recebimento dos materiais até a ordem de entrega das aduelas, constando sua localização no parque eólico (ver Fig. 6).

5.2 QUALIDADE DAS TORRES

O plano de inspeção das torres de concreto baseia-se na norma ABNT NBR 5426, onde para um tamanho



Figura 5 – Esquema de composição da torre

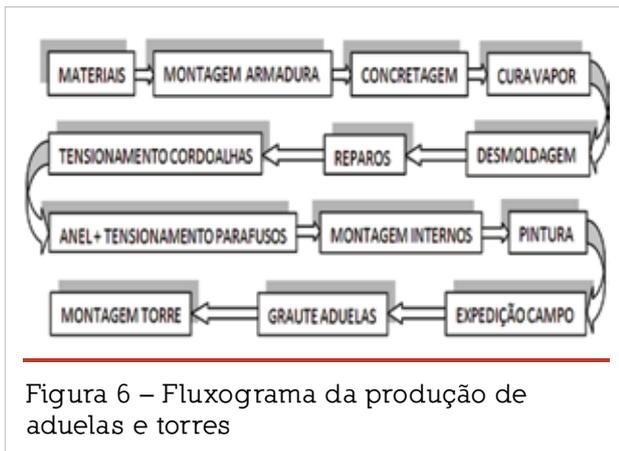


Figura 6 – Fluxograma da produção de aduelas e torres

de lote de 15 aduelas (cada torre tem 15 aduelas), nível geral de inspeção II e um NQA (Nível de Qualidade Aceitável) de 6,5 (i.e. uma probabilidade de 93,5% de um lote bom ser aprovado ou 6,5% de um lote ruim ser aprovado - risco adotado), com plano de amostragem simples - normal, indica que o tamanho da amostra a ser retirada é 2 unidades.

Os itens constantes da inspeção das aduelas do lote são:

- 1) Certificados dos aços e cordoalhas;
- 2) Certificado do cimento, incluindo teor de álcalis;
- 3) Controle de fabricação prévia à concretagem, para verificação das armaduras;
- 4) Controle de concretagem, através dos ensaios do concreto fresco na central antes do lançamento, como: fluidez (*slumpflowtest*, *slumpflow T600 test* e *V-funneltest*), habilidade passante e coesão (L-box test), além de massa unitária e ar incorporado;
- 5) Controle de desmoldagem, através de ensaios de resistência do concreto para transporte;
- 6) Controle de reparação de aduelas após desmoldagem, através de inspeção visual das aduelas para detecção de falhas e fissuras;

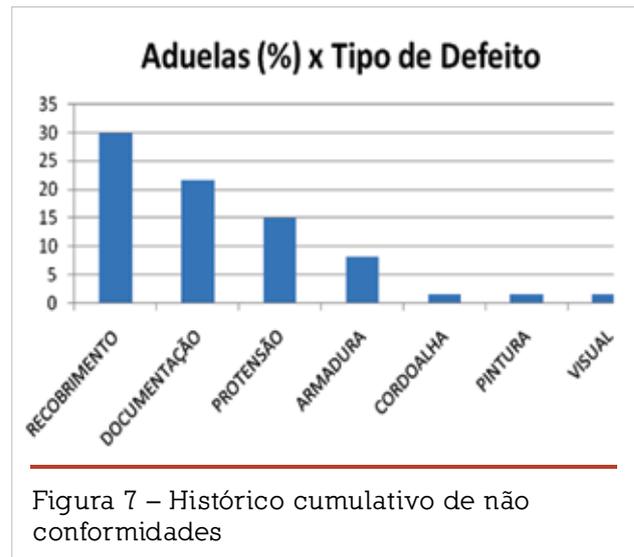


Figura 7 – Histórico cumulativo de não conformidades

- 7) Controle de resistências do concreto, através de ensaios de ruptura de corpos de prova;
- 8) Controle dimensional do recobrimento da armadura do concreto;
- 9) Controle de colocação do anel metálico, aplicável às aduelas do último tramo para fixação do aerogerador;
- 10) Controle de tensionamento das cordoalhas;
- 11) Controle de tensionamento dos parafusos, aplicável às aduelas do último tramo para fixação do aerogerador;
- 12) Controle de aduela prévio à expedição, através de registros relacionados com o processo de montagem das torres;
- 13) Controle de pintura, através de ensaios da medição de camada e aderência;
- 14) Controle de expedição, através da rastreabilidade das aduelas.

Dentro de um universo de 60 aduelas produzidas até este momento, num total de 1800, tem-se o histórico cumulativo de não conformidades representado na Fig. 7, onde alguns pontos são de fácil correção, como



Figura 8 – Visão geral da sequência de montagem do aerogerador

documentação, pintura, visual, armadura e cordoalha; já outros estão em análise sobre as medidas corretivas a serem adotadas, tais como: recobrimento, através de estudos de durabilidade, e protensão, através da análise do projeto para os limites aceitáveis de alongamento das cordoalhas.

No sentido de minimizar a adoção de medidas corretivas, a fábrica de torres tem procurado melhorar seu processo produtivo, seguindo as sugestões das equipes de qualidade em campo, que identificaram pontos frágeis no processo e os melhoraram.

6. VIDA ÚTIL

Internacionalmente, as torres eólicas são projetadas para uma vida útil de apenas 20 anos. A CHESF, com apoio de consultores, está realizando ensaios de campo e análises teóricas para determinar se esse requisito é compatível com a ABNT NBR 8681 e será objeto de futuro artigo científico.

7. CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou sucintamente a complexidade dos estudos e da correta implantação de torres eólicas com fuste de concreto protendido e fundações de concreto armado tipo massivo.

Referências Bibliográficas

- [01] Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 5426. Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos. ABNT, Rio de Janeiro, 1985.
- [02] Mehta, K. P & Monteiro, Paulo J.M. Concreto Microestrutura, Propriedades e Materiais. Revisores e Coordenadores: Nicole Pagan Hasparyk, Paulo Helene & Vladimir Antonio Paulon. IBRACON, 2008. ISBN 978-85-98576-12-1
- [03] Silveira, J. F. A., Cavalcanti, A. J. T., Hasparyk, N. P., Lopes, A. N. M. Investigação da reatividade álcali-agregado e a confiabilidade dos métodos de ensaio acelerados. IBRACON - 44º Congresso Brasileiro, Belo Horizonte, 2002. ●



A experiência de quem saber fazer.

A Mega Concreto chega com uma equipe motivada e liderada por profissionais experientes que gostam de desafios. Não é a toa que muitas das histórias do concreto no Brasil foram escritas por eles e pelo visto escreverão muitas mais.

Nossa estrutura

- 120 m³/h de produção de concreto de qualidade.
- Produção e entregas informatizadas.
- Precisão e rapidez no atendimento.
- Estrutura eficiente de pós-venda.
- Soluções para obras de pequeno, médio e grande porte.
- Usinas de canteiro.

11 3616.2244 www.megaconcreto.com.br



Soluções técnicas na consolidação e proteção de torres eólicas

EMÍLIO MINORU TAKAGI – ENGENHEIRO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA (ITA)

RAFAEL FERNANDES – GERENTE DA DIVISÃO DE ENERGIA
MARINA MENDONÇA VIEIRA SILVA – DEPARTAMENTO TÉCNICO
LEANDRO ROCHA CHAGAS – COORDENADOR DE P&D
MC-BAUCHEMIE BRASIL

1. INTRODUÇÃO

Fator crucial para a determinação da durabilidade das grandiosas estruturas de concreto com mais de 100 m de altura (Figura 1), este artigo aborda uma solução técnica específica para os aerogeradores do Parque Eólico de Trairi, no Ceará, com torres em concreto pré-moldado, com destaque, para o uso dos sistemas de proteção com pintura de acrilatos elastoméricos e o uso de grautes cimentícios de elevado desempenho para a consolidação das peças pré-moldadas, durante a montagem dessas torres eólicas.

É importante a atuação dos fabricantes de materiais desde a etapa de projetos, para auxiliar na definição do melhor produto, bem como a definição dos equipamentos de aplicação, da metodologia e das janelas de horários para realização dos serviços para a pintura, montagem e consolidação dessas peças pré-moldadas.

As normas técnicas são muito claras ao sugerir uma vida útil de projeto (VUP) mínima de 50 anos para os elementos estruturais de concreto em obras comuns; portanto, no caso das torres eólicas de concreto, seria coerente recomendar uma VUP entre 75 a 100 anos.

No entanto, essas são menos explícitas ao esclarecer como uma pintura de acabamento pode proporcionar uma elevação da VUP dessas torres, atuando como um sistema



Figura 1 – Solução técnica específica utilizada no Parque Eólico de Trairi/CE, para contornar as ações da maresia e da alta temperatura

multifuncional de proteção frente aos possíveis efeitos degenerativos da agressividade do ambiente.

Um desafio ainda maior é proteger essa estrutura de concreto da ação da maresia e de outras intempéries potencializadas pela altura e força do vento.

No desenvolvimento do graute cimentício de elevado desempenho, especialmente formulado para o mercado de torres eólicas, deve-se destacar não somente as características de altas resistências iniciais e finais, bem

como a manutenção de sua fluidez frente a realidades de condições climáticas com temperaturas extremas e às dificuldades com as distâncias de transporte, mas também a sua resistência à segregação, quando lançado de uma altura de 20 metros.

Neste contexto, compete aos projetistas considerar nos projetos as condicionantes do ambiente físico de forma mais efetiva, e minimizar os custos de operação e manutenção ao longo do tempo. Esses aerogeradores são equipamentos complexos que são projetados mecânica e eletricamente para um funcionamento ininterrupto ideal de cerca de 20 a 30 anos.

2. SISTEMA DE PROTEÇÃO PARA A ELEVAÇÃO DA DURABILIDADE DAS TORRES

O sistema de proteção por pintura EmceColor-Flex aplicado protege as estruturas, para a ação de cloretos, da carbonatação e dos raios UV (Ultravioleta). O sistema possui tecnologia para absorver as vibrações dinâmicas naturais neste tipo de estrutura, evitando, assim, o fissuramento no revestimento e aumentando a durabilidade da estrutura.

As normas ainda esclarecem que decorridos 50% dos prazos da VUP, desde que não exista histórico de necessidade de intervenções significativas, considera-se atendido o requisito de VUP, salvo prova objetiva em contrário. Por isso, para estimar a VUP, ensaios de envelhecimento natural realizados em amostras com 15 anos, retiradas de instalações existentes, confirmaram a retenção satisfatória de propriedades, o que possibilitou estabelecer que uma VUP superior a 30 anos pudesse ser alcançada com uma adequada manutenção.

Historicamente, os dados sobre a expectativa de VU (Vida Útil) dos sistemas de proteção são particularmente esparsos e, na maioria das vezes, baseados apenas em observações empíricas. Para a estimativa da VUP, recomenda-se o uso da metodologia proposta pela norma ISO 15.686 “Buildings and constructed assets - Service life planning”, que prevê a possibilidade de se recorrer a modelos estocásticos, ensaios acelerados comparativos entre materiais ou sistemas semelhantes, ensaios de envelhecimento natural em campo, e, até mesmo, à experiência acumulada dos fabricantes, com as referências de obras em condições semelhantes de entorno.

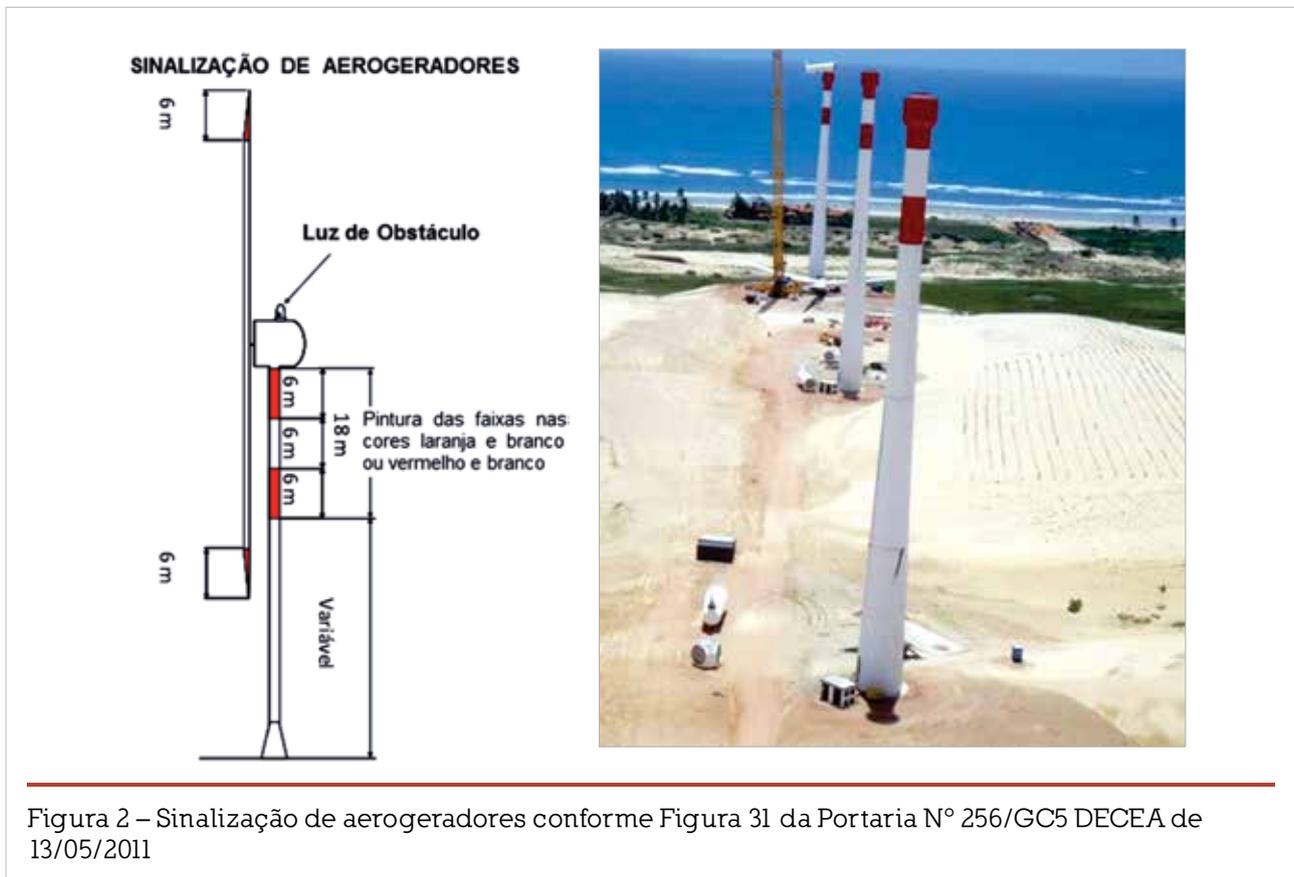


Figura 2 – Sinalização de aerogeradores conforme Figura 31 da Portaria N° 256/GC5 DECEA de 13/05/2011

O efeito protetor da pintura de acabamento das torres eólicas raramente foi uma preocupação para os projetistas, construtores e especificadores. Assim, de certa maneira, concentrou-se apenas em seguir as exigências de sinalização dos aerogeradores preconizados nos artigos 84 e 85 da Portaria No. 271/GC5 – DECEA, de 06 de Junho de 2012, do Comando da Aeronáutica, que dispõe sobre a pintura dos componentes do aerogerador: torre, nacele e pás, conforme a Figura 2.

Estas regras de sinalização de aerogeradores foram alteradas recentemente pelo Comando da Aeronáutica. Caso opte por sinalizar com faixas laranja ou vermelha, o empregador não precisará mais pintar a nacele (cabine que abriga a turbina), mas apenas a torre e as pás. Entre as alterações, está a possibilidade de substituir a pintura por uma sinalização apenas diurna, “com luz de obstáculo na cor branca, intensidade mínima de 20.000 candelas, intermitente, com frequência entre 20 e 60 lampejos por minuto, instalada no topo da nacele e com visibilidade garantida em todas as direções”.

2.1 SISTEMA MULTIFUNCIONAL DE PROTEÇÃO POR PINTURA DO CONCRETO

Nos últimos anos, a maior inovação foi tornar as pinturas de proteção abertas à difusão de vapor por meio da nanotecnologia. Caracterizados por permitirem que o concreto respire, devido à microporosidade, essas pinturas possuem elevada resistência à alcalinidade e à hidrólise, e são, assim, mais resistentes aos microrganismos. Resultam no aumento da resistividade do concreto e desaceleram o ingresso de agentes agressivos, reduzindo a velocidade de corrosão da armadura do concreto, uma característica importante para a durabilidade do elemento estrutural.

Conforme a norma ISO EN 7783-1, a permeabilidade ao vapor exprime-se como um valor S_D (m). Para um sistema de proteção ser considerado permeável ao vapor da água, este deve possuir uma resistência à difusão de vapor (S_D - Steam Diffusion) menor que 5,0 metros em camada de ar, conforme mostrado na Figura 3. O sistema de proteção por pintura aplicado em 2 demãos de 280 ml/m², com espessura de 324 μm, possui resistência à difusão de vapor de água (μH₂O) de 1780, equivalente a 0,58 metros de camada de ar e, portanto, aberto à difusão de vapor.

Os mais modernos sistemas de proteção do concreto

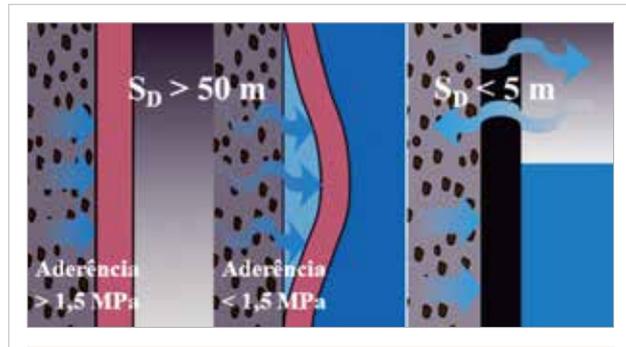


Figura 3 – Sistemas de proteção mais modernos permitem a difusão de vapor

são multifuncionais, visam não somente impedir a penetração da água que carregam os agentes agressivos para dentro do concreto, mas também a penetração do gás carbônico (CO₂). Aplicado em 2 demãos de 280 ml/m², com espessura de 331 μm, possui resistência à difusão de gás carbônico (μCO₂) de 1,78 x 10⁶, equivalente a 589 metros de camada de ar; portanto, fechado à difusão do gás carbônico (pintura anti-carbonatação).

A flexibilidade Classe B2 desse sistema de proteção foi ensaiada de acordo com a norma EN 1504 – Parte 2, em combinação com a EN 1062-7:

- Ensaios dinâmicos, onde o material resiste ao fissuramento quando esticado, com abertura de fissura de 0,15 mm, e afrouxado, com abertura de 0,10 mm, em 1000 ciclos de 0,03 Hz, a uma temperatura de -20 °C.

3. GRAUTES ESPECIAIS PARA CONSOLIDAÇÃO DAS PEÇAS DAS TORRES

De acordo com o tipo de projeto e altura da torre, as torres são divididas em sua altura por “tramos”, que variam de 4 m até 20 m de altura. Estes, por sua vez, quando empilhados formam a torre de concreto.

Na junção de cada tramo, temos a junta horizontal. Cada tramo, por sua vez, é composto por aduelas, que são semicírculos pré-moldados de concreto. Na junção destes semicírculos, temos as juntas verticais.

Novamente de acordo com o tipo de projeto, para fechamento do tramo, são utilizados de 2 até 7 aduelas para fechamento do círculo (perímetro da torre).

Hoje, com o aumento da complexidade dos projetos, a necessidade de produtos com desempenho cada vez mais específico é notória. A fim de exemplificar este fato, no processo de montagem de torres eólicas de

concreto, além das armaduras de espera para solidarização no local, posicionadas durante a fase de fabricação das aduelas, se faz necessário, para preenchimento das juntas verticais (formadas pelas aduelas) e das juntas horizontais (formadas pelos tramos), grautes com comportamento singular, a fim de tornar a torre uma estrutura monolítica. Formulado com o uso de aditivos químicos selecionados, não segrega quando lançado de uma altura de 20 metros; possui manutenção da fluidez por 150 minutos; e atinge, aos 28 dias, valores superiores a resistência à compressão de 80 MPa e resistência à tração na flexão de 8 MPa. (Figura 4).

O controle de qualidade da construção de torres para energia eólica passa por vários ensaios, cuja finalidade é validar os processos construtivos. Para bem atender as necessidades de projeto, foram feitos ensaios de resistência à compressão e resistência à tração na flexão utilizando como base as normas:

- NBR 7215/1996: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão;
- NBR 13279/2005: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão;
- NBR 15961 - 2/2011: Alvenaria estrutural – Blocos de concreto. Parte 2: Execução e controle de obras – Determinação da resistência à compressão.

Os resultados estão apresentados na tabela 1, sendo que:

- Tipo 1 - Cilíndrico (5x10)cm e;
- Tipo 2 - Prismático (4x4x16)cm.



Figura 4 – Peças pré-moldadas com 20 metros de altura, montadas e consolidadas com graute de elevado desempenho

Tabela 1 – Resultados do ensaio de compressão aos 28 dias

Tipos de corpos de prova	Média dos ensaios de resistência à compressão - MPa				
	0 horas	3 dias	7 dias	14 dias	28 dias
Tipo 1	0,0	66,5	77,9	79,6	81,1
Tipo 2	0,0	67,2	77,7	79,1	80,2

Fonte: L. A. Falcão Bauer

O ensaio de determinação do índice de consistência, segundo a NBR 7215 anexo B, utilizando o miniCone, está apresentado na tabela 2.

No estudo de avaliação de desempenho, utilizando a norma NBR 7215 anexo B, obteve-se resultados de manutenção de consistência após 2 horas da adição da água no produto, tendo apenas uma leve queda da fluidez inicial. Durante a realização do ensaio, foi possível observar que as partículas finas não se dispersaram e todos os componentes químicos mantiveram unidos, garantindo uma reação completa, ou seja, atingiu-se o máximo desempenho.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora tenham sido propostas na literatura diversas abordagens para projetos de durabilidade associando

Tabela 2 – Resultados do ensaio de determinação do índice de consistência

Tempo (min)	Tª amb (°C)	Ø1 (mm)	Ø2 (mm)	(mm)
0	21,0	400	405	402,5
10	21,0	403	404	403,5
20	21,0	402	400	401
30	21,1	402	402	402
40	21,1	398	398	398
50	21,2	397	397	397
60	21,2	395	396	395,5
70	21,2	390	390	390
80	21,2	391	393	392
90	21,3	392	392	392
100	21,2	390	387	388,5
110	21,2	388	386	387
120	21,2	386	386	386
130	21,2	385	385	385
140	21,2	387	386	386,5
150	21,2	386	386	386

o cobrimento de concreto dos elementos estruturais com os sistemas de proteção, ainda não existem métodos padronizados ou sobre os quais haja consenso. É importante salientar que os resultados de alguns modelos de vida útil indicam que a utilização de um sistema de proteção de alta eficiência pode aumentar a VUP de uma estrutura em concreto armado em pelo menos 7,8 vezes (MEDEIROS e HELENE, 2009).

No entanto, este aumento do efeito da proteção adicional deve ser considerado apenas durante o período de tempo das respectivas VUPs destes sistemas de proteção, que são normalmente menores que a VUP do

elemento de concreto, entre 15 a 30 anos. Portanto, a avaliação sistemática da relação da durabilidade/VUP prevista para o conjunto formado pelo elemento estrutural e o sistema de proteção pode somente ser realizada por inspeções periódicas do elemento estrutural e pela correta gestão da manutenção com a renovação contínua do sistema de proteção.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos para Daniel Franco Silva e Mario Aparecido Gomes, colaboradores do laboratório L. A. Falcão Bauer, pelos conselhos recebidos durante a execução dos ensaios.

Referências Bibliográficas

- [01] ROMERO, A. Parque eólico no litoral cearense exige soluções especiais nas torres. Revista Engenharia Civil, n. 20, p. 28-31, Junho. 2014
- [02] CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575. Gadioli Cipolla Comunicação, Fortaleza, 2013, 308 p. 2ª. Edição. Disponível em: <http://www.cbic.org.br/arquivos/guia_livro/Guia_CBIC_Norma_Desempenho_2_edicao.pdf> Acesso em 16/07/2014.
- [03] DANSK STANDARD. Repair of concrete structures to EN 1504. Elsevier Butterworth-Heinemann. 2004. 214 p.
- [04] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 15686-8:2008; buildings and constructed assets - service-life planning - part 8: reference service life and service-life estimation. 2008. 36 p.
- [05] MEDEIROS, M. H. F.; HELENE, P. Surface treatment of reinforced concrete in marine environment: Influence on chloride diffusion coefficient and capillary water absorption. Construction and Building Materials, v. 23, p. 1476-1484, 2009. ●

IMPERMEABILIZAÇÃO POR CRISTALIZAÇÃO

Túneis rodoviários e ferroviários

Estação de Tratamento de
Água e Efluentes

Reservatórios de Água

Estacionamentos

Barragens

Piscinas

Subsolos



Penetron Brasil

Rua Nazira Elias Muhamad, 555.

Bairro Aterrado - CEP: 12610-517

(12) 3159-0090 / (12) 2131-4801

www.penetron.com.br

info@penetron.com.br

PENETRON
TOTAL CRACKS PROTECTION

Investimentos em energia eólica no Brasil: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade

ELBIA MELO – PRESIDENTE-EXECUTIVA
ABEEÓLICA

A energia eólica tem experimentado um exponencial e virtuoso crescimento no Brasil. De 2009 a 2014, nos onze leilões dos quais a fonte eólica participou, foram contratados mais de 12 GW em novos projetos. Tais projetos elevarão o volume de instalações de energia eólica no País para mais de 14,3 GW até 2018, quantidade três vezes maior do que a capacidade atual, e atrairá mais de quarenta bilhões de reais em investimentos.

Fatores estruturais somados a uma conjuntura favorável explicam a trajetória virtuosa da energia eólica no Brasil. Esta trajetória teve início com o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA). Lançado em 2004 e baseado em um estruturado modelo de financiamento e políticas regionais, o PROINFA foi responsável pela contratação de 1.422,9 MW, por meio de preços subsidiados. Tal política, com a sua maturação, elevou o País a um patamar ímpar, em que se contrata, atualmente, energias renováveis não convencionais, sem necessidade de subsídios, como as tarifas feed-in, política de investimento em energias renováveis muito utilizado na União Europeia, que consiste na aplicação de tarifas diferenciadas para as fontes contempladas, implantação de medidores, isenções tributárias e prazos diferenciados de amortização dos projetos de usinas de energias renováveis, utilizadas pelos demais países que investem nesta fonte.

A trajetória tecnológica, principal fator de competitividade desta indústria, o aumento na altura dos aerogerado-

res, de 50m para 100m, o diâmetro das pás e dos rotores, somados a especificidades dos ventos brasileiros, nos permitem uma vantagem comparativa única. Soma-se a isto uma conjuntura de crise internacional, com forte impacto nos anos 2009 a 2012, em que o Brasil se tornou, junto com a China e Índia, um importante locus de investimento para este setor, uma vez que Europa e EUA reduziram e, em alguns casos, cortaram seus investimentos em fontes renováveis subsidiadas. Esses fatores fazem com que a competição se torne ainda mais acirrada, de forma que os investidores, para ganhar mercado, tendem a aceitar uma remuneração menor para entrar e permanecer no País. Neste contexto, o Brasil tem hoje nove fabricantes de aerogeradores, com grande representatividade, sendo portanto, um dos maiores e melhores fabricantes do mundo.

Com a primeira inserção da fonte em leilões competitivos a partir de 2009, o ano de 2011 foi marcado pela consolidação da inserção da energia eólica na matriz energética brasileira, por meio da expressiva contratação nos leilões ocorridos naquele ano, somando 2.905 MW no total. Tal montante foi muito superior aos 2 GW esperados para que a indústria mantenha, de forma sustentável, sua cadeia produtiva. Além disso, ao atingir, naquele momento, o patamar médio de preços de R\$ 100,00/MWh, a eólica se firmou como a segunda fonte mais competitiva do País. A preços de hoje, a energia eólica está em torno de R\$ 130,00/MWh, perdendo em termos de competitividade apenas para as hidrelétricas de grande porte.

1. ASPECTOS DA INSERÇÃO DA FONTE EÓLICA NA ECONOMIA BRASILEIRA

O ano de 2013 pode ser considerado o ano “espetacular de contração” para a fonte eólica no Brasil, considerando o elevado grau de contratação da fonte no período, cerca de 4,7 GW de potência. Além disso, segundo dados da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE, nos leilões de energia nova, realizados a partir de 2005, no âmbito do novo modelo do setor elétrico, a energia eólica ocupa o segundo lugar com 12,4GW do total. Desde o primeiro leilão a partir de 2009, foram contratados na média 2,3 GW de energia eólica por ano, montante superior ao break-even da indústria, ou seja, as condições para manter e sustentar esta cadeia produtiva que vem sendo criada, que corresponde a cerca de 2GW por ano. O que traz um importante sinal de investimento para a indústria que vem crescendo e se desenvolvendo de forma exponencial no Brasil.

Uma indústria com alto grau tecnológico e inovador, e que guarda em si grandes complexidades e um potencial de inovação intenso, exige um sinal de investimento de longo prazo adequado. Em termos da conjuntura econômica brasileira, uma matéria da Folha de São Paulo, publicada em dezembro de 2013, mostra os setores que mais cresceram na Economia, a despeito do fraco desempenho do País naquele ano. Nessa estatística, o setor eólico cresceu 1500%.

Este ano de 2014, em que comemoramos 10 anos do

Decreto de criação do PROINFA, a fonte já alcançou 4,7 GW de capacidade instalada, com cerca de mais 10 GW contratadas para os próximos quatro anos, demonstrando, assim, um salto virtuoso da participação da fonte na matriz. A capacidade instalada atual, de 4,7 GW, possibilita o fornecimento de energia à, pelo menos, oito milhões de residências.

A energia eólica é uma fonte limpa e renovável, que gera empregos e renda para o Brasil. Até 2013, foram gerados 120 mil empregos diretos e, neste ano, estão sendo investidos no setor cerca de R\$ 14 bilhões, com previsão de chegar a mais R\$ 60 bilhões até 2018.

Do ponto de vista socioeconômico, a geração de empregos e renda em regiões carentes demonstra um papel relevante das externalidades positivas decorrentes da geração eólica. O pagamento referente aos arrendamentos é feito diretamente aos proprietários das áreas, representando geração e injeção de renda por, no mínimo, 20 anos em regiões que, em sua maioria, são bastante carentes, com economias estagnadas, inclusive no semiárido brasileiro.

O potencial eólico brasileiro onshore é estimado em 300 GW, possuindo alta relevância face à necessidade de aumento da capacidade instalada nacional. Em condições normais de PIB, o País contrata, por ano, cerca de 6 GW de potência nos leilões de energia nova e o potencial eólico disponível deve ser explorado para atender esta demanda.



Gráfico 1 – Evolução do preço da energia eólica de 2004 a 2013 (Fonte: ABEEólica)

O Brasil é destaque com geração de energia elétrica limpa e renovável, preponderantemente hídrica, na qual a eólica é complementar. Quarenta e cinco por cento (45%) da matriz energética provêm de fontes que não emitem CO₂, contra menos de 20% da média mundial. Adicionalmente, o País dispõe de diversas opções de geração de energia limpa e competitiva para sua expansão, incluindo a hidroeletricidade, a cogeração, a biomassa e a energia eólica.

Diante deste cenário de oferta razoável de fontes limpas e renováveis para compor a matriz elétrica, a competitividade das fontes em termos de preços para os leilões apresenta-se como um grande diferencial para a inserção, consolidação e sustentabilidade das fontes de energia no País.

Neste contexto, o recente desenvolvimento da indústria de energia eólica no Brasil pode ser explicado por fatores estruturais importantes, com destaque para o progresso tecnológico alcançado por esta indústria, as características do vento brasileiro, bem como as atrativas condições dos leilões do mercado regulado e as condições de financiamento. Tais fatores, dentro de uma conjuntura internacional de crise econômica, vêm contribuindo para o acirramento da competição no mercado brasileiro e a consequente redução dos custos de produção e dos preços negociados nos leilões de energia.

Os mais de 12 GW de potência contratados a partir de 2009 contrastam fortemente com os primeiros investimentos feitos pelo Brasil nesta fonte de energia, quando da implantação do PROINFA, período no qual foram contratados 1,4GW a preços até três vezes superiores aos dos últimos leilões, conforme gráfico 1.

A competitividade desta indústria pode ser visualizada pela queda do valor médio de investimento (CAPEX total), o qual foi reduzido em quase 50% nos últimos 8 anos. Apenas para exemplificar, o valor inicial de R\$ 6 milhões por MW instalado (PROINFA) foi reduzido para R\$ 3,5 milhões por MW instalado nos leilões de 2011. Tal redução se justifica em grande parte pela revolução tecnológica que a indústria sofreu nos últimos anos e, principalmente, pela massiva entrada de fabricantes de aerogeradores no Brasil, principalmente a partir de 2009, quando o número de fabricantes passou de 2 e atingiu 9, em 2014.

Diante dos números volumosos e virtuosos ora apresentados, é importante notar que o crescimento exponencial de um setor de infraestrutura com tamanha complexidade traz ao setor muita responsabilidade e muitos desafios. O setor enfrentou gargalos consideráveis principalmente a partir de 2012, destaca para a logística e transporte e transmissão: o

caso do atraso das ICGs – Centrais de Geração para Conexão Compartilhada, instalações de transmissão, não integrantes da Rede Básica, destinadas ao acesso de centrais de geração em caráter compartilhado à Rede Básica. Soma-se a isto a revisão das regras no credenciamento dos fabricantes na linha de financiamento Finame, oferecida pelo BNDES, as quais passaram a valer a partir de 2013, e a publicação da MP 579.

A despeito das dificuldades acima apresentadas, o Brasil hoje está na 13ª posição em termos de capacidade instalada e saltará para a 10ª posição no final de 2014, o que demonstra o cenário virtuoso pelo qual o setor vem passando.

2. DESAFIOS PARA A CONSOLIDAÇÃO E SUSTENTABILIDADE DA FONTE EÓLICA NO BRASIL

Conforme mencionado, o Brasil apresenta hoje 4,7 GW de potência eólica instalada, o que corresponde a 4% de participação na matriz elétrica brasileira.

Desde 2009, quando foi realizado o primeiro leilão de energia para a fonte eólica, a indústria vem crescendo a uma taxa média anual de 2 GW por ano, de forma que, até o final de 2022, considerando o PROINFA e tudo que foi contratado até o momento em 2014, a fonte vai alcançar 17GW de capacidade instalada, o que corresponde a 9,5 % da matriz elétrica nacional.

Para desenvolver uma indústria forte, consolidada e exportadora, a competição e inovação tornam-se fatores cruciais. Sobre este aspecto, é importante destacar que a indústria de energia eólica no mundo com tecnologia econômica viável é demasiadamente recente: somente a partir de meados da década de 90, começou a receber massivos investimentos em tecnologia, conforme quadro 2.

O Brasil ainda tem um longo caminho para melhorar a competitividade e garantir a sustentabilidade de longo prazo da fonte eólica de energia, que passa necessariamente pela melhora da competitividade nos custos de produção das turbinas eólicas e nos demais custos do País¹, uma vez que essas turbinas são influenciadas fortemente pela aquisição dos insumos no País, pela escala de produção atingida, assim como pelo “Custo Brasil”². Neste sentido, a redução nos preços das turbinas ainda é uma das maiores entraves para redução do custo total de produção de energia eólica. O que demonstra a necessidade de incentivos fortes ao progresso tecnológico, seja no sentido de investimentos diretos em P&D e Inovação, seja no sentido de manutenção de uma relativa abertura do país para receber investimentos externos.

¹ VALE LEMBRAR QUE, QUANTO MAIOR A QUANTIDADE DE FABRICANTES E COM SUAS RESPECTIVAS PARTICIPAÇÕES, MAIOR SERÁ A DEMANDA DESDOBRADA NA CADEIA PRODUTIVA BRASILEIRA, O QUE GERA UMA DEMANDA DE INVESTIMENTOS E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO.

² É FATO QUE PARTE DO CUSTO MAIS ALTO NO BRASIL VEM DA DEFICIÊNCIA DE INFRAESTRUTURA, CUSTO DE TRANSPORTE, FALTA DE CONCORRÊNCIA NA CADEIA DE FORNECEDORES DE COMPONENTES ELÉTRICOS E ESCASSEZ DE MÃO DE OBRA. NATURALMENTE, NÃO SE PODE IMPUTAR TODA DIFERENÇA DE CUSTO AOS AEROGERADORES.



Quadro 2 – Evolução histórica mundial da tecnologia eólica (Fonte: EPE, 2012)

Um fato curioso é que os recentes investimentos no Brasil têm demonstrado uma clara redução no preço da energia eólica nos leilões. A crise financeira internacional, a partir de 2008, trouxe consequências importantes para a indústria de energia eólica no mundo. Diante da redução dos investimentos, tanto na América do Norte quanto na Europa, e com seus estoques cheios, as empresas fabricantes de equipamentos tiveram de buscar alternativas, como os promissores mercados dos países em desenvolvimento, e em especial, nos BRICs.

A China poderia ser uma boa alternativa para estes fabricantes, por ser o país com maior mercado crescente de energia eólica. No entanto, este exuberante mercado é essencialmente suprido por fornecedores locais. Assim, os fabricantes de aerogeradores europeus e norte-americanos passaram a concentrar suas vendas em novos mercados, como a América do Sul.

Dessa forma, o Brasil aparece como o verdadeiro pólo de atração de investimentos para os fabricantes de equipamentos, considerando sua perspectiva de crescimento econômico sustentável, e demanda com elasticidades superiores a 1,3, o que traduz em um aumento constante na demanda de eletricidade. Conforme apresentado no PDE 2021, para os próximos 10 anos, o país necessitará mais de 60.000 MW de potência instalada, e a energia eólica vai participar fortemente deste mercado.

Diante desses fatos, registra-se, principalmente a partir de 2009, a chegada de um grande número de fabricantes

interessados no mercado brasileiro e uma forte redução nos preços de venda. A estratégia destas empresas se fez com a entrada agressiva no mercado brasileiro, com preços baixos, e com a oferta dos equipamentos em estoque e, no futuro, a instalação de unidades fabris no país. Por essa razão, no início houve uma tendência à entrada de equipamentos de tecnologia secundária para atender a demanda por equipamentos a custos mais baixos, não representando, portanto, equipamentos com tecnologia de ponta. Entretanto, a partir dos leilões de 2010 e principalmente dos leilões de 2011, este cenário mudou. Os últimos equipamentos instalados vêm refletindo a tecnologia de ponta dos fabricantes. O Brasil consegue atrair hoje o investimento em aerogeradores de última geração com potência de 3MW, torres com 120 metros de altura e pás com mais de 60 metros. Tais tecnologias se referem a geração de energia eólica on-shore, uma vez que os parques off-shore estão tendendo para máquinas muito maiores, acima de 6 MW e, atualmente de 9 MW, em pesquisa e desenvolvimento. Entretanto, esta tecnologia ainda é muito cara no Brasil e há ainda muito o que se explorar em áreas on-shore no país.

Do que se apresenta, o grau de evolução tecnológica dos equipamentos e a estrutura de mercado mundial da indústria de equipamentos eólicos demonstram claramente que esta indústria encontra-se em seu estado inicial, seja no Brasil, seja no mundo, o que permite concluir que este setor tem um grande potencial de evolução ou até mesmo revolução. ●

Túnel submerso Santos-Guarujá: nova tecnologia para atender a uma antiga demanda

ESTANISLAU MARCKA – ASSESSOR DA PRESIDÊNCIA
DERSA – DESENVOLVIMENTO RODOVIÁRIO S/A

A implantação de uma nova travessia ligando as cidades de Santos e do Guarujá é uma reivindicação quase centenária da população da Baixada Santista. A primeira proposta concreta aconteceu, quando em 1927, a empresa Sociedade Casa de Arquitetura, Construções e Operações Territoriais, apresentou o projeto do engenheiro Eneas Marini, que consistia na ligação através de um túnel, com 900 metros de extensão e a uma profundidade de 20 metros.

O primeiro homem público brasileiro que encarou o grande desafio de estudar a transposição do Canal do Porto de Santos foi o Engenheiro e Arquiteto Francisco Prestes Maia há mais de 60 anos atrás. Já, naquela oportunidade, ele constatou haver a necessidade de se construir uma ligação entre as margens do Canal do Porto ligando as cidades de Santos e do Guarujá, de forma a facilitar as operações de embarque e desembarque de produtos nos navios atracados nos cais localizados nas duas margens. Durante o governo Abreu Sodré, foi proposta uma ponte helicoidal para unir as duas margens do canal. Mais recentemente, em 2010, foi proposta uma travessia através de Ponte Estaiada cruzando o Canal do Porto de Santos na Ponta da Praia, onde atualmente é efetuada a travessia por serviço de balsas operado pela DERSA- Desenvolvimento Rodoviário S/A.

Somente a partir do início da década de 30, essa ligação passou a ser efetuada regularmente através de um serviço de balsas e, somente no início da década de 70, a região

ganhou uma ligação terrestre de cerca de 45 km através das Rodovias Anchieta e Cônego Domenico Rangoni.

Em função de alguns fatores, como a melhoria de condições e o crescimento da classe média que incrementou as atividades de turismo na região, a quase duplicação da frota de veículos no estado de São Paulo nos últimos dez anos, o aumento significativo do movimento de cargas no porto de Santos e o início da exploração do pré-sal pela Petrobrás, ocorreu uma intensiva utilização da infraestrutura de conexão entre Santos e Guarujá, implicando em transtornos aos usuários na forma de maior tempo nas filas das balsas e enormes congestionamentos no acesso ao porto pela Cônego Domenico Rangoni.

O Porto de Santos, particularmente, é o maior porto da América Latina e sozinho é o responsável por quase um terço de todas as operações de importação e exportação brasileiras. Atualmente, o Porto de Santos movimenta, por ano, mais de 100 (cem) milhões de toneladas de cargas de diversos tipos em seus 13,1 quilômetros de cais, localizados ao longo das duas margens do estuário de Santos. Suas instalações estão sendo ampliadas para movimentar várias modalidades e tipos de mercadorias, providência que permitirá mais do que duplicar sua capacidade operacional já instalada.

Com o crescimento do porto e o conseqüente aumento do tráfego de navios ao longo do canal, o serviço de travessias vem sofrendo um acréscimo nas paralisações, tanto na

operação dos “ferry boats” quanto das barcas de passageiros. Essas interrupções diminuem a capacidade operacional das travessias litorâneas e pioram a qualidade dos serviços prestados aos usuários, especialmente na região da Ponta da Praia. Atualmente, entre 35 a 40 navios circulam por dia ao longo do canal, causando uma paralisação forçada no tráfego das balsas e das barcas, que são obrigadas a ficar atracadas, e que dura em média de 5 a 7 minutos por navio. Esta situação deve ser sensivelmente agravada com a expansão do Porto, onde se prevê, na entrada do canal (Ponta da Praia), um movimento de 150 a 200 navios/dia em horizonte de dez anos.

Associado às perspectivas trazidas pela exploração de petróleo na Bacia de Santos provenientes das reservas do Pré-Sal, a garantia para que haja um desenvolvimento sustentado para a região requer a implantação de novas ligações que farão a circulação de pessoas e de carga entre Santos e o Guarujá, em diferentes modais de transporte. Caso não haja um esforço direto para a melhoria da infraestrutura viária local, os já saturados sistemas aquaviários

existentes e o sistema rodoviário Anchieta/Imigrantes e a rodovia Cônego Domênico Rangoni (SP-055) entrarão em colapso e comprometerão a expansão do Porto e de toda Região Metropolitana da Baixada Santista. Assim, a necessidade de uma ligação direta entre as cidades de Santos e do Guarujá mostra-se cada vez mais imprescindível.

A Secretaria de Logística e Transportes do Governo do Estado de São Paulo decidiu encarar o desafio e promoveu um profundo estudo técnico para a definição do local de travessia e, a partir deste, da melhor solução tecnológica para efetuar-la.

1. SELEÇÃO DO LOCAL DE TRAVESSIA

A transposição do canal é uma obra importante, tanto para imprimir uma dinâmica maior às atividades logísticas do Porto quanto para integrar e interligar as principais rodovias da Baixada Santista, com o objetivo de otimizar as operações portuárias, promover a reordenação demográfica e o redirecionamento do tráfego local e regional.

As treze propostas de travessia propostas ao longo dos



Figura 1 – Travessias secas: 13 propostas estudadas

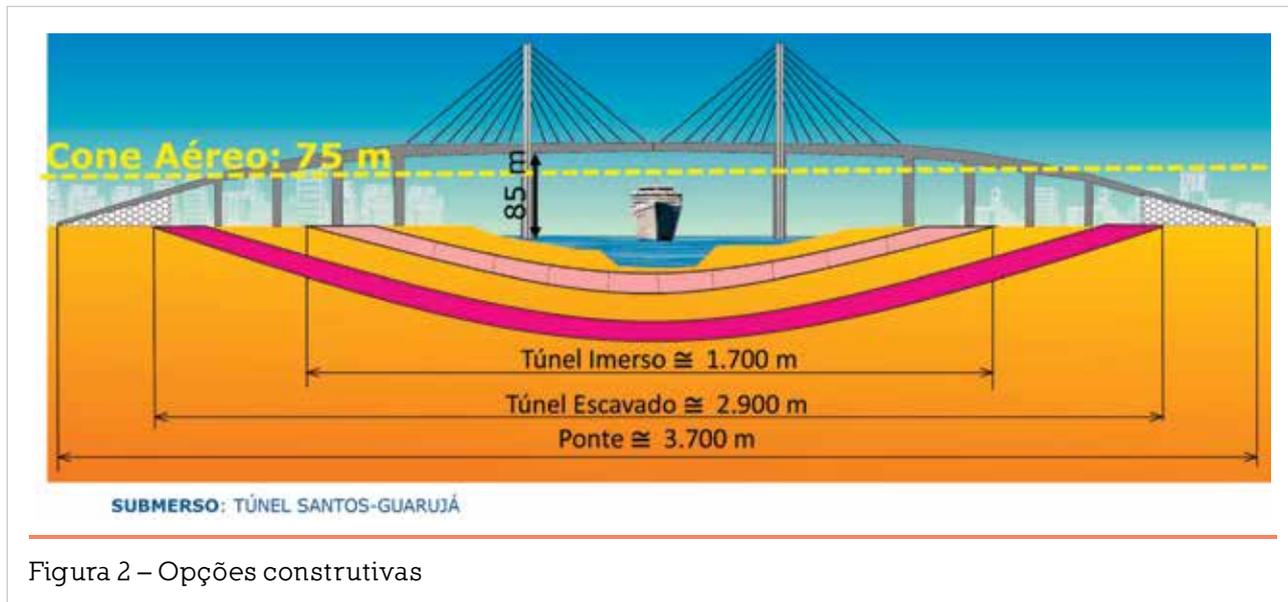


Figura 2 – Opções construtivas

anos foram agrupadas em sete macrolocalizações denominadas de A a G, sendo a primeira situada na região da Alemoa - Ilha de Bagres e a última na Ponta da Praia, conforme indicado na Figura 1.

A partir de 7500 pesquisas de origem e destino, das contagens regulares de veículos da CET - Companhia de Engenharia de Tráfego de Santos e de contagens efetuadas pela DERSA em 25 pontos, foram feitas simulações de tráfego e de atratividade da demanda por todos os modais de transporte (inclusive os modos não motorizados - pedestres e ciclistas) para as sete alternativas locais.

Os indicadores de atratividade da demanda de tráfego considerados para as sete alternativas de localização da travessia foram: volume de tráfego atual atraído para a ligação; tipo de demanda atendida (viagens urbanas x rodoviárias); potencial da receita com pedágio; percentual do tráfego captado da balsa; ganhos/perdas em tempos de viagem por modo de transporte; redução das distâncias percorridas por modo de transporte; impactos no sistema viário urbano; e, impactos de acessibilidade para modos não motorizados.

Os estudos levaram à conclusão que a melhor solução locacional situa-se na região central do Canal do Porto de Santos nas posições D e E (nem na Ponta da Praia e nem na região da Alemoa/Ilha de Bagres).

Estudo de microlocalização levou em consideração outros fatores, como bens tombados pelo patrimônio histórico, condições geológico-geotécnicas locais, impactos sociais de desapropriações e reassentamentos e impactos no tráfego urbano de Santos e Guarujá e no tráfego de carga das duas

margens do Porto de Santos. Este refinamento conduziu à localização E como a de maior eficiência e maior atratividade de tráfego. Os acessos do lado de Santos situam-se na região do Cais de Outeirinhos e, do lado oposto, no Distrito de Vicente de Carvalho, em Guarujá, no alinhamento da faixa da linha de transmissão da energia gerada na Usina Itatinga da CODESP - Companhia Docas do Estado de São Paulo.

2. DEFINIÇÃO DA SOLUÇÃO CONSTRUTIVA

Para a definição da solução tecnológica entre as duas opções genéricas disponíveis - ponte ou túnel - foi efetuada a pesquisa de eventuais restrições construtivas face à travessia do canal do Porto de Santos e à existência da Base Aérea de Santos (futuro Aeroporto Regional do Guarujá) na margem esquerda do canal.

O CAP - Conselho de Autoridade Portuária definiu, através da Resolução CAP nº 08 de 27/06/2011, os gabaritos para navegação na posição E escolhida para a travessia: largura mínima do canal de navegação de 220 metros, profundidade mínima de 21 metros e gabarito mínimo de 85 metros acima do zero DHN.

Por outro lado, o COMAER - Comando da Aeronáutica estabeleceu, por meio da Portaria nº 256/CG5 de 13/05/2011, alterada pela Portaria nº 1256/CG5 de 10/07/2013, que a altitude máxima de instalações fixas na região proposta para a travessia é de 75 metros acima do nível médio do mar.

As variantes construtivas de pontes - em arco, pênsil, estaiada, basculante e levadiça - não atendem simultaneamente às restrições de navegação aérea e

marítima, por isso foram descartadas. Cogitou-se ainda de soluções que atendessem a ambas as restrições – giratória e submersível. Contudo, a aplicação das mesmas se inviabiliza pelo tempo não inferior a 30 minutos da operação de abertura e fechamento para a passagem de navios (muito mais do que os 5 a 7 minutos de interrupção do serviço de balsas), eliminando uma grande vantagem da travessia seca (o fluxo contínuo do tráfego) e limitando a sua capacidade operacional.

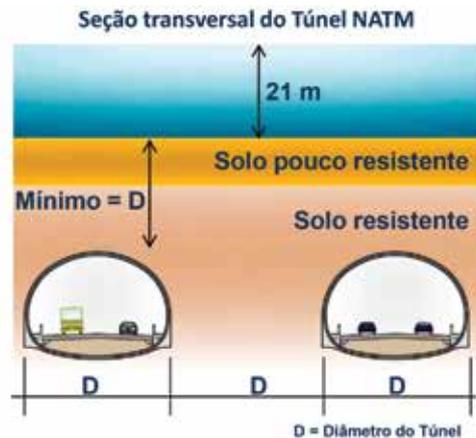
Assim sendo, a partir destas considerações, restou a alternativa de travessia através de túnel sob o canal do Porto de Santos (Figura 2). Para esta solução construtiva foram analisadas duas tecnologias passíveis de aplicação ao presente caso - o túnel escavado (NATM) e o túnel imerso – comparando-se as suas principais características, conforme mostrado nas figuras 3 e 4.

Entre as soluções de túnel, a tecnologia tradicional de túnel escavado foi preterida, pois, para atingir leito resistente para a sua escavação seria muito profundo e com rampas

muito longas, afetando demais as zonas urbanas dos dois municípios. Assim, restou a solução de túnel imerso, inédita no Brasil, mas com cerca de 150 experiências de sucesso no mundo e com mais de 70 anos de operação segura comprovada (Túnel de Maas, na Holanda, inaugurado em 1942). A experiência mais antiga do mundo, construída em aço, data de 1910 (Detroit/EUA).

Em adição, a tecnologia do “túnel imerso”, por ser uma tecnologia inédita no Brasil propiciará o desenvolvimento de capacitação técnica dos engenheiros brasileiros e a transferência de “know-how” para o país, além de possibilitar o seu emprego em situações onde se exige soluções de baixo impacto, execução rápida e com um custo de implantação bem competitivo, e ainda trará benefícios diretos e indiretos, tais como:

- Redução do custo de transporte de mercadorias;
- Agilidade no escoamento da produção e na internalização dos produtos importados;
- Melhoria na qualidade de vida;



- Técnica conhecida no país
- Não interfere na operação do porto
- Depende de características geotécnicas e geológicas do terreno
- Pode implicar em escavações a grandes profundidades
- Estabilidade das escavações depende do maciço (maior risco geológico)
- Necessita grandes estruturas de contenção nos emboques

SUBMERSO: TÚNEL SANTOS-GUARUJÁ

Figura 3 – Opção 1 : túnel escavado (NATM)



Figura 4 – Opção 2: túnel imerso

- d) Preservação ambiental da área;
- e) Desenvolvimento econômico e geração de empregos;
- f) Economia de tempo e de combustível, com a consequente redução dos níveis de poluição;
- g) O aumento da capacidade no despacho e no recebimento de cargas e de mercadorias;
- h) Travessia com um menor comprimento total;
- i) Menor impacto no ambiente, pois proporciona um número menor de desapropriações e remanejamento de famílias;
- j) Possibilita o acesso direto ao futuro aeroporto metropolitano da Baixada Santista;
- k) Próximo ao terminal marítimo de passageiros Concais;
- l) Próximo ao futuro terminal de passageiros do VLT (Veículo Leve sobre Trilhos);
- m) Possibilita ligar as duas vias perimetrais, uma localizada na margem direita do Porto, na cidade de Santos e a outra na margem esquerda, na cidade do Guarujá;
- n) Não traz impacto ao patrimônio histórico, artístico e arqueológico das duas cidades;
- o) A ligação seca integrará e compatibilizará todos os modos de transporte existentes;
- p) Reordenará o tráfego viário de caminhões;
- q) Fará uma melhor distribuição do tráfego local de veículos nas duas cidades;
- r) Reordenará a expansão urbana em toda a região portuária;
- s) Propiciará a revitalização das duas margens do canal do porto possibilitando criar áreas de lazer.

3. TRAÇADO PROPOSTO

O traçado selecionado a partir da consideração das restrições impostas pelo canal de navegação do porto, pelos requisitos da CODESP de evitar a condução do tráfego urbano para as avenidas Portuária (na margem direita) e Perimetral (na margem esquerda) e das Prefeituras Municipais de Santos e Guarujá, que estabeleceram como premissa a segregação dos tráfegos de carga e urbano e a conveniência de não concentrar o fluxo de acesso e saída do túnel em um único ponto, é mostrado na Figura 5 e descrito a seguir.

No distrito de Vicente de Carvalho, no Guarujá, localizado na margem esquerda do canal, a rampa de acesso ao túnel desenvolve-se na faixa hoje ocupada pela linha de alta tensão da CODESP, que leva energia para o Porto, no lado de Santos. Esta via de acesso ao túnel se desenvolve em toda a sua extensão abaixo do nível natural do terreno (focando a questão da minimização de ruído), sendo que, sob a Praça 14 Bis, passa em túnel “cut and cover”. São três as possibilidades de acesso e saída no túnel: nas proximidades da Rua Duque de Caxias a partir do sistema viário planejado pela Prefeitura do Município do Guarujá, com possibilidade de acesso à Base Aérea de Santos, Petrobrás e SP-055; entrada e saída pela Avenida Santos Dumont, com acesso a Vicente de Carvalho e Guarujá; e entrada e saída preferencial de caminhões nas proximidades da Rua Santo Amaro, permitindo o acesso à Avenida Perimetral da Margem Esquerda do Porto de Santos.

A transposição do canal do Porto será realizada através do túnel submerso que segue em direção a Santos, localizado na margem direita do canal, passando por debaixo

do cais de Outeirinhos e finalizando nas proximidades da Estação Porto do VLT, entre a Av. Senador Dantas e a Rua Padre Anchieta, no alinhamento da Rua José do Patrocínio. Há três opções de acesso ao túnel para quem se dirige ao Guarujá: acesso preferencial de caminhões vindo da Av. Portuária pela Rua Padre Anchieta; entrada pela Avenida Conselheiro Rodrigues Alves na esquina da Padre Anchieta; e acesso pela Avenida Senador Dantas antes de chegar à Rua José do Patrocínio.

Toda a ligação é composta de dois segmentos de rampa descobertos, dois segmentos de rampa cobertos e um segmento de túnel imerso com aproximadamente 870 metros de comprimento. No total, o túnel terá um comprimento aproximado de 1700 metros.

A seção transversal do túnel é composta por três células (ou tubos) de circulação. A célula central é empregada para a circulação de pedestres e de ciclistas, e as duas outras, com três faixas de tráfego cada uma, a serem empregadas na circulação de veículos de passageiros e de caminhões. A seção transversal terá cerca de 10,60 metros de altura e cerca de



Figura 5 – Traçado proposto - licença prévia

37,0 metros de largura e o túnel será assentado numa trincheira a aproximadamente 34 metros de profundidade, que será escavada especialmente para acomodá-lo. Um enrocamento com 2 a 3 metros de altura fará o recobrimento do túnel para protegê-lo do impacto de embarcações naufragadas e/ou eventualmente do arrasto de uma âncora de navio. Essa profundidade possibilitará a passagem de navios com calado de até 17 metros. O túnel apresentará características especiais, atendendo o transporte urbano e rodoviário, com velocidade máxima de 60 km/h.

Ao final da passagem exclusiva para pedestres e ciclistas, serão instaladas escadas rolantes e elevadores para acesso às áreas externas que ficarão junto aos sistemas viários e cicloviários locais das duas cidades, oferecendo conforto e praticidade aos usuários. Nestes dispositivos de transição – um em cada cidade – também existe a possibilidade de incorporar áreas para o estacionamento de veículos.

4. METODOLOGIA CONSTRUTIVA DO TÚNEL IMERSO

Em linhas gerais, a solução consiste em construir o túnel em segmentos em uma doca seca. Cada segmento é vedado em suas extremidades, a doca é inundada, de modo que o segmento flutuando possa ser deslocado até o seu posicionamento definitivo, onde é afundado e conectado à estrutura de emboque, o segmento seguinte é conectado ao anterior já instalado, e assim sucessivamente.

É importante destacar que há uma junta especial entre os segmentos de túnel e que o primeiro esforço de conexão é aplicado por macacos hidráulicos e o esforço final é dado através do aproveitamento da própria pressão hidrostática atuante sobre a extremidade livre. No caso do túnel Santos-Guarujá esta pressão será da ordem de 3 kgf/cm² em média, em função da profundidade de assentamento do túnel.

A doca seca será construída em Vicente de Carvalho sobre a faixa da linha de transmissão de energia elétrica da CODESP, tendo sido previsto o seu aproveitamento futuro como acesso do lado Guarujá. O comprimento total será de 545 metros, largura de 42 metros e profundidade de 15,70 metros a partir do nível do terreno natural. Foi dimensionada para a produção simultânea de três elementos. Considerando que o trecho imerso é composto de seis elementos de 145 metros cada um, a doca será utilizada duas vezes para a fabricação dos elementos. A Figura 6 ilustra a produção de um elemento de túnel em uma doca seca para o Thu Thiem Tunnel, em Saigon, no Vietnã.

Construído o perímetro da doca seca – paredes-diafragma e estacas-prancha – é efetuada a escavação, o



Figura 6 – Construção de elemento de concreto em doca seca

esgotamento da vala e a preparação da base para dar início à produção dos elementos. Cada elemento de 145 metros será composto de sete módulos de pouco mais de 20 metros, concretados na seqüência de 1 a 7. Em primeira etapa, é concretada a laje de fundo e, em seguida, as paredes e a laje superior.

Concluída a produção dos três primeiros elementos, será executada a vedação das extremidades através de estrutura metálica (“bulkheads”), sendo, então, os elementos preparados para a flutuação, transporte e estacionamento. A doca é inundada e os três elementos prontos serão transportados flutuando até a área de estacionamento previamente preparada ao lado do Terminal de Veículos, na margem esquerda do Porto de Santos.

A doca deve ser fechada, esgotada e preparada para a produção dos outros três elementos, adotando-se a mesma tecnologia e a mesma seqüência até o seu transporte para a área de estacionamento.

Com a conclusão das estruturas de emboque em ambas as margens, é dado início ao processo de transporte, posicionamento, imersão e assentamento dos seis elementos do túnel imerso na trincheira previamente dragada.

A operação de imersão leva de 18 a 24 horas e o assentamento, que inclui a execução das fundações por meio de injeção de mistura de areia e água e o reaterro para estabilização do elemento, dura de 7 a 10 dias. Este é o prazo para o início da instalação do elemento subsequente.

5. PRINCIPAIS CUIDADOS CONSTRUTIVOS

Por se tratar de um equipamento urbano de uso público, a estrutura de concreto do túnel Santos-Guarujá deve



Figura 7 – Juntas Gina

possuir os atributos que qualquer obra deste tipo deve ter: resistência, durabilidade, conforto, segurança, boa estética, funcionalidade, eficiência etc. Contudo, por atravessar sob o Canal do Porto de Santos a uma profundidade superior a 30 metros, a característica específica que deverá receber atenção redobrada será a estanqueidade.

Para obter uma estrutura composta por seis elementos concretados em sete módulos, em local distinto do de assentamento, que seja totalmente estanque, deverão ser tomados cuidados especiais quanto a materiais e procedimentos construtivos nos seguintes componentes:

- Juntas;
- Concreto; e,
- Transporte, imersão e assentamento.

5.1 JUNTAS

A vedação entre os módulos componentes de um elemento – junta de construção – será de borracha de estireno butadieno (SBR), com as seguintes características, conforme normas ISO 34, ISO 37, ISO 48, ISO 815, ISO 1629, ISO 1827, ISO 2285, ISO 2781, ISO 3384, ISO 7619: massa específica 1110 kg/m³; dureza Shore A 60; resistência à tração ≥ 17 MPa; alongamento de ruptura $\geq 375\%$; resistência ao cisalhamento ≥ 31 N; alteração do alongamento de ruptura a 70°C com 336 h ≤ 30 . O veda junta deve conter tiras de aço vulcanizadas a borracha, com aderência da borracha ao aço ≥ 1000 N em largura de 25 mm.

Deverá ser colocada na junta de construção existente nas paredes externas uma fita hidroexpansiva. Esta fita é composta por materiais hidrofílicos e sua função é selar as juntas de construção através da sua expansão quando em contato com água.

A vedação entre os elementos do túnel e destes com as estruturas de emboque é efetuada através da denominada junta de imersão, um sistema constituído por junta tipo Gina

e junta tipo Omega, do mesmo fornecedor, com expectativa de tempo de vida útil de 200 anos, de acordo com testes pela ISO 11346, usando o método de Arrhenius.

A junta Gina, ilustrada na Figura 7, é instalada sobre quadro metálico fixado ao topo de um elemento e deve ser de borracha natural, com as seguintes características, conforme normas ISO 34, ISO 37, ISO 48, ISO 815, ISO 1629, ISO 1827, ISO 2285, ISO 2781, ISO 3384, ISO 7619: massa específica 1090 kg/m³; dureza Shore A 51; resistência à tração ≥ 20 MPa; alongamento de ruptura $\geq 500\%$; resistência ao cisalhamento ≥ 70 N; relaxação de tensão $\leq 4,5\%$ a cada década; alteração do alongamento de ruptura a 70°C com 168 h ≤ 35 .

A junta Ômega, ilustrada na Figura 8, é instalada internamente como complementar à junta Gina na função de vedação. É constituída de borracha de estireno butadieno (SBR), com as seguintes características, conforme normas ISO 34, ISO 37, ISO 48, ISO 815, ISO 1629, ISO 1827, ISO 2285, ISO 2781, ISO 3384, ISO 7619: massa específica 1160 kg/m³; dureza Shore A 65; resistência à tração ≥ 16 MPa; alongamento de ruptura $\geq 400\%$; resistência ao cisalhamento ≥ 45 N; relaxação de tensão $\leq 6\%$ a cada década; alteração do alongamento de ruptura a 70°C com 168 h ≤ 25 .

5.2 CONCRETO

Além de obedecer a restritas tolerâncias dimensionais, por se tratar de elementos pré-fabricados em canteiro que deverão ser perfeitamente acoplados entre si, e dos cuidados com as espessuras de parede e a densidade do concreto, para permitir a segura navegabilidade das peças na ocasião de sua instalação, especial atenção deverá ser dada à estanqueidade das paredes externas do túnel.

Para tanto, deverão ser utilizados componentes para a fabricação do concreto, de modo a obter a máxima estanqueidade para as severas condições de pressão e

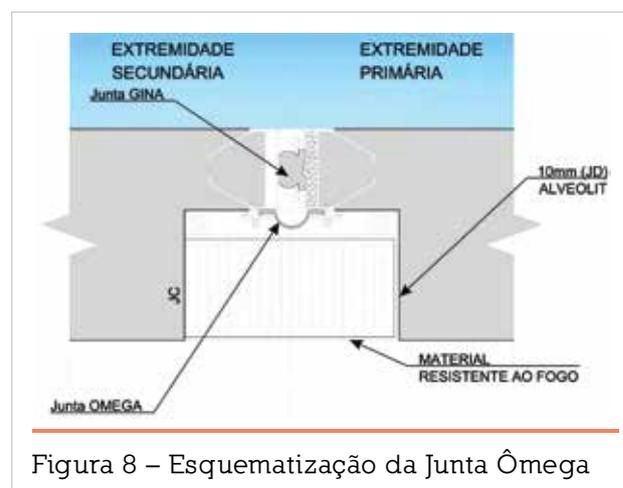


Figura 8 – Esquemática da Junta Ômega

agressividade do ambiente onde será instalado o túnel.

Com este objetivo, especificou-se: concreto fck 40MPa; relação água-cimento máxima 0,40; módulo de elasticidade tangente inicial de 35GPa aos 28 dias; produzido com cimento Portland de Alto Forno Resistente a Sulfatos CPIII RS, contendo percentagem >65% de escória de alto forno; contendo teor de 8% de sílica ativa ou 14% de metacaulim em relação à massa de cimento; contendo aditivo superplastificante (1%) e aditivo polifuncional (0,8%); contendo 1% de aditivo cristalizante; lançamento à temperatura de 12°C.

Considerando, ainda, que face ao volume das peças a construir, a concretagem será efetuada em duas etapas: na primeira, será construída a laje de fundo e, na segunda, as paredes e a laje superior. Para evitar fissuras (o limite máximo tolerável é de 0,2 mm) em função de tensões diferenciais entre a laje de fundo já concretada e o concreto das paredes em processo de cura, além de o concreto ser produzido com a utilização de gelo em escamas para atingir a temperatura de lançamento especificada, nas paredes externas deverá ser instalado sistema de pós-refrigeração, conforme ilustrado na Figura 9, com as seguintes características básicas:

- Diâmetro da tubulação de aço carbono, PEAD ou ferro-fundido = 25 mm;
- A tubulação pode ser amarrada na armadura existente;
- Toda a tubulação deve ser testada com circulação de água previamente à concretagem, para verificar se há pontos de vazamento, especialmente nas conexões;
- Fluxo de água gelada na tubulação de aproximadamente 15 l/min (0,9m³/h);
- Temperatura da água na entrada da tubulação de aproximadamente 5°C;
- Provável temperatura da água na saída da tubulação para resfriamento e recirculação, aproximadamente de 10°C;
- As tubulações de entrada e saída de água, em suas partes externas, devem ser isoladas, termicamente, para evitar ganhos de calor;
- A água deve começar a circular assim que o concreto cobrir a tubulação;
- Após o pico de temperatura, a velocidade de resfriamento deve ser igual ou inferior a 0,6°C/dia;
- Em princípio, o período de pós-refrigeração pode variar de 72 horas a 2 semanas (a duração deste período deverá ser fixada em função dos resultados das evoluções de temperaturas medidas no concreto, de sua maturidade e deve ser avaliada em função dos estudos de tensões de origem térmica a serem realizados).

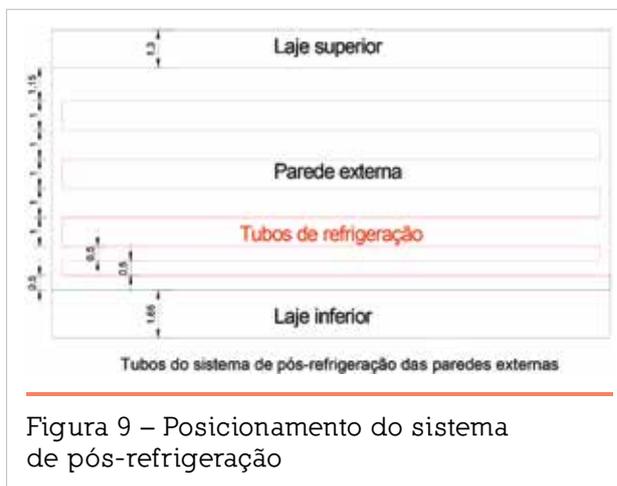


Figura 9 – Posicionamento do sistema de pós-refrigeração

O controle do fluxo de água deve ser feito através da análise da evolução das temperaturas. Para sua medição devem ser instalados vários termômetros (termopares, resistência elétrica, corda vibrante ou fibra ótica) embutidos no concreto. Suas leituras podem ser manuais ou automatizadas e deverão ser efetuadas, no mínimo, a cada hora desde o lançamento até que, após ter sido ultrapassado o pico máximo de temperatura, esta atinja cerca de 30°C. Daí em diante, as leituras poderão ser efetuadas a cada 8 horas.

5.3 TRANSPORTE, IMERSÃO E ASSENTAMENTO

A integridade dos elementos de túnel deverá ser garantida desde a sua conclusão na doca seca até o seu assentamento no local definitivo. Durante a movimentação, deverá ser evitada a possibilidade de choques com qualquer estrutura fixa ou móvel que possa danificar o concreto ou as juntas de imersão. As juntas são preventivamente protegidas com um quadro de madeira, que é instalado antes de se iniciar o processo de flutuação, e aí permanece até o momento em que o elemento é transportado para a sua posição definitiva para imersão.

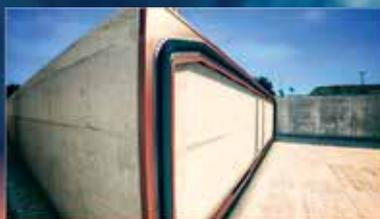
Considerando que o elemento é composto de 7 módulos de cerca de 20 metros, a sua rigidez longitudinal é garantida por meio de protensão parcial executada na laje de fundo, garantindo a integridade da peça nas operações de transporte, estacionamento, imersão e assentamento.

Os cabos de protensão são cortados após o posicionamento definitivo, a vedação final da junta de imersão e a execução da fundação por meio de jato de areia e água bombeada, através de tubulação embutida previamente na estrutura de concreto da laje de fundo.



1 | CONSTRUÇÃO

Os elementos de túnel são construídos em uma doca seca instalada em Vicente de Carvalho, na faixa da LT da CODESP.



2 | DRAGAGEM DA TRINCHEIRA

Uma trincheira é dragada no eixo do túnel com largura e cotas de projeto.



3 | FLUTUAÇÃO E TRANSPORTE

Concretados e preparados os elementos, a doca seca é inundada ocasionando a sua flutuação. Por meio de rebocadores e cabos, são transportados para o seu posicionamento no canal.



4 | POSICIONAMENTO E IMERSÃO

Fixados em guindastes ou portes flutuantes, os elementos são posicionados por sistemas de monitoramento eletrônico na sua locação definitiva. Com o aumento do volume de água nas piscinas internas, o elemento é lentamente imerso e posicionado junto à peça precedente.



5 | ACOPLAMENTO E ESTANQUEIDADE

Por meio de macacos hidráulicos, os elementos são aproximados promovendo a vedação primária com a junta Gina. O esgotamento da água entre os dois anteparos cria um ambiente sob pressão atmosférica, enquanto a outra extremidade do elemento está sujeita à pressão hidrostática. Este diferencial comprime a junta Gina promovendo a vedação completa.



6 | FUNDAÇÃO E REATERRO

O espaço vazio entre a laje inferior e o fundo da trincheira é preenchido com o bombeamento de areia e água formando "panquecas" que constituirão a fundação do elemento. As laterais do túnel são reaterradas e a laje superior é protegida por uma camada de enrocamento para evitar danos de impactos de embarcações e arraste de âncoras.

Figura 10 – Método construtivo submerso Santos-Guarujá

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além do legado tecnológico que o projeto e construção do túnel imerso devem deixar para a engenharia nacional, espera-se que, com a sua conclusão, prevista para 2018, haja sensível melhoria na mobilidade de pessoas e bens, com uma notável requalificação urbana no entorno dos acessos, no bairro do Macuco, em Santos, e no distrito de Vicente de Carvalho, no Guarujá.

A solução adotada apresenta inúmeras funcionalidades que nenhuma das demais opções antes cogitadas têm: as três faixas de tráfego em cada sentido admitem o tráfego de automóveis, ônibus, caminhões e motos e a geometria adotada (raios mínimos, rampas máximas e gabarito) permite receber o VLT – Veículo Leve sobre Trilhos; a galeria central permitirá a passagem de pedestres e ciclistas de forma abrigada, confortável e segura; na parte superior da galeria central, serão instalados os cabos de transmissão de energia elétrica da CODESP (que atualmente apresenta risco para algumas atividades portuárias por não atender ao gabarito mínimo de 85 metros) e uma linha da CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz para aumentar a segurança

do suprimento de Santos e Vicente de Carvalho; e, ainda, estuda-se a possibilidade de travessias de duto de água para o reforço do abastecimento de Guarujá.

As questões de segurança para os usuários (motorizados ou não) têm sido consideradas com extrema responsabilidade, especificamente para a hipótese de incêndio no túnel. Além das ações de prevenção relativas à restrição do tráfego de produtos perigosos, detectores de fumaça, calor e gases, extintores e hidrantes, circuito fechado de TV, completo sistema de sinalização, controle de acesso na ocasião de eventos críticos, sistema de ventilação nas galerias de veículos, brigadas e equipamentos móveis de combate ao fogo e pressurização da galeria de pedestres para evitar o ingresso de fumaça, um completo plano de ação em emergências e de gestão de riscos está sendo desenvolvido.

A garantia de manutenção de todos estes dispositivos, e da adoção dos procedimentos recomendados, está no fato de que o túnel disporá de um Centro de Controle Operacional próprio, operado por concessionária privada que será oportunamente escolhida através de processo público de seleção. ●

Através de ferramentas inteligentes a **RR COMPACTA** incorpora modernas tecnologias no processo de **Retrofit**. Da fachada às áreas internas, em edifícios de médio ou grande porte. **Vamos inovar?**



Emprego do CAA na indústria de concreto pré-fabricado

ENG. MSc. CAMILO MIZUMOTO – COORD. CONTROLE TECNOLÓGICO E QUALIDADE

ENG. MSc. MARCELO CUADRADO MARIN – GERENTE DE ENGENHARIA

ENG. MAURO CESAR SILVA – GERENTE DE PRODUÇÃO

LEONARDI CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA LTDA

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar os principais aspectos para a implantação do concreto autoadensável (CAA), vivenciados na experiência ocorrida numa planta de produção de concreto pré-fabricado.

A adoção do CAA na indústria de concreto pré-fabricado é potencializada pela logística de produção do concreto em fábrica, controle tecnológico e de qualidade empregados nos processos. Contribui também o fato de que as centrais dosadoras possuem misturadores de alta eficiência, que permitem melhor homogeneização da mistura. A necessidade de redução do ciclo de produção, otimização dos recursos e acabamento superficial dos elementos torna-se mais racionalizada utilizando-se este tipo de concreto. Deve-se ainda considerar que, pela necessidade de liberação das peças em baixas idades, a dosagem dos concretos na indústria se dá também pela resistência inicial, de modo que se associa o CAA aos concretos de elevada resistência, isto possibilita a redução das seções e, conseqüentemente, o peso das peças, influenciando positivamente no transporte e na capacidade dos equipamentos de montagem, havendo uma interface direta com aspectos relacionados à sustentabilidade.

O uso CAA tende a ser maior a cada dia, uma vez que, em relação ao concreto convencional vibrado (CCV), torna possível a redução de mão de obra e do tempo de concretagem, melhor acabamento da superfície, facilidade de aplicação, redução de ruído, eliminação de vibração, grande capacidade de preenchimento de peças estreitas, de difícil

acesso e de elevada densidade de armadura, dentre outras vantagens destacadas por Repette (2011).

O mesmo autor cita os cuidados necessários quanto ao emprego do CAA em termos de controle de materiais constituintes e da água de amassamento, tornando-o um concreto “sensível” e menos “robusto” em relação ao CCV.

Alencar & Helene (2008), no trabalho “Trabalhabilidade do Concreto autoadensável: ensaios para dosagem, controle de qualidade e aceitação em obra”, ressaltam a perspectiva positiva do emprego do CAA em países industrializados. Não existe tópico na indústria de pré-fabricados de concreto que tenha ganhado tanta atenção como o CAA, já utilizado em 100% de sua produção em algumas plantas no exterior.

Tudo isso pode ser explicado devido à existência de uma série de melhorias no seu processo de aplicação, entre eles: diminuição da necessidade de desempenos e minimização de macrodefeitos, bolhas de ar e falhas de concretagem, em razão de sua propriedade autonivelante; melhoria das condições de trabalho pela redução de ruído com a eliminação de vibradores; redução de mão de obra; economia de energia elétrica; menor desgaste das fôrmas; aceleração do ritmo de concretagem.

Para implantação do CAA, é necessário que se tenha já implementado um controle tecnológico que possibilite um desvio padrão adequado (para fins de concreto pré-fabricado, considerar 3,5MPa estabelecido no item 12 da ABNT NBR 9062 (2006)).

O emprego do CAA também requer investimentos em estrutura física, em maior qualificação das equipes

Tabela 1 – Ensaios estabelecidos na ABNT NBR 15823 (2010)

Ensaio	Sigla	Especificação	Função
Espalhamento (Slump-flow)	SF	NBR 15823-2	Indica a fluidez e habilidade de preenchimento de fôrmas em fluxo livre
Tempo de escoamento (T500)	VS	NBR 15823-2	Analisa a viscosidade plástica aparente do CAA em fluxo livre
Funil V	VF	NBR 15823-5	Analisa a viscosidade plástica aparente do CAA em fluxo confinado
Anel J	PJ	NBR 15823-3	Análise da habilidade passante: capacidade de o concreto fluir sem perder uniformidade ou causar bloqueio, através de espaços confinados e aberturas estreitas, com áreas de alta densidade de armadura e embutidos. Os ensaios simulam condições em fluxo livre (Anel J) e confinado (Caixa L).
Caixa L	PL	NBR 15823-4	
Coluna de segregação	SR	NBR 15823-6	Resistência à segregação do concreto: capacidade do concreto permanecer com sua composição homogênea durante as etapas de transporte, lançamento e acabamento

envolvidas, em critérios de controle tecnológico e dos processos de produção, como será demonstrado a seguir.

2. ESTUDOS PARA APLICAÇÃO DO CAA NA PLANTA DE PRODUÇÃO

2.1 ENSAIOS DE DESENVOLVIMENTO

A literatura aborda diferentes métodos de dosagem que podem ser empregados para confecção do CAA. Gomes e Barros (2009) apresentam diversas metodologias aplicadas

ao CAA, descrevendo métodos internacionais e nacionais.

Dois processos para o desenvolvimento do CAA conhecidos e propagados nas indústrias de concreto pré-fabricado são os propostos por Tutikian (2004) e Alencar & Helene (2008), processos esses que partem de estudos baseados na mistura final do concreto, eliminando ensaios em etapas de pasta e argamassa. Tais metodologias tornam-se favoráveis ao desenvolvimento do CAA em laboratórios das fábricas de concreto.

A ABNT NBR 15823 (2010) especifica ensaios para caracterização do CAA, associados à fluidez, viscosidade

Tabela 2 – Propriedades do concreto frente sua aplicação – ABNT NBR 15823-1

Propriedades Ensaio	Classes	Aplicação	Exemplo
Espalhamento (Slump-flow)	SF2 660 a 750	Adequado para a maioria das aplicações correntes	Paredes, vigas, pilares e outras
	SF3 760 a 850	Estruturas com alta densidade de armadura e/ou de forma arquitetônica complexa, com o uso de concreto com agregado graúdo de pequenas dimensões (menor que 12,5mm)	Pilares-parede, paredes diafragma e pilares
Viscosidade plástica aparente t_{500} (s)/ funil V (s)	VS1 ≤ 2	Elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, exige controle da exsudação e da segregação.	Lajes, paredes diafragma, pilares-parede, indústria de pré-moldados e concreto aparente
	VF1 ≤ 8	Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre	
Habilidade passante Anel J (mm) Caixa L (H2/H1)	PL2 0 a 25mm com 16 barras de aço	Adequado para a maioria das aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamento de armadura	Vigas, pilares, tirantes, indústrias de pré-moldados
	PJ2 $\geq 0,80$, com 3 barras de aço	de 60mm a 80mm	
Resistência à segregação Coluna de segregação (%)	SR2 ≤ 15	Distância a ser percorrida > 5m Espaçamento de armadura < 80mm	Pilares, paredes, elementos estruturais complexas e elementos pré-moldados

Nota 1: SR2 ou um valor limite mais rigoroso pode ser especificado se a resistência ou a qualidade da superfície for particularmente crítica;

Nota 2: Quando a distância a ser percorrida do concreto for maior que 5m e espaçamento inferior a 80mm, deve ser especificado um valor de SR menor que 10%.

plástica aparente, habilidade passante e resistência à segregação. Esta norma também classifica e recomenda em seu anexo informativo a aplicação deste concreto para diferentes situações. Tais critérios são indicados nas Tabelas 1 e 2.

Em termos de espalhamento, a indústria de concreto pré-fabricado adota a classificação SF2, por adequar-se à grande maioria dos casos onde o CAA é aplicado, sendo menos usual o uso da classe SF3, por apresentar elevado espalhamento e utilizar agregado graúdo de menor dimensão, implicando um alto volume de argamassa e, custos mais elevados (ALENCAR & HELENE, 2008).

Outro aspecto importante refere-se ao tempo de manutenção de trabalhabilidade do CAA, pois afeta o lançamento, acabamento do concreto e nível de porosidade na superfície acabada. Neste contexto, o estudo de aditivos de base polí-carboxilatos que permitam a manutenção da trabalhabilidade do concreto é essencial na fase de testes em laboratório.

Além disso, a temperatura ambiente pode influenciar na perda da manutenção da trabalhabilidade do CAA em períodos mais quentes e ocasionar o retardo da resistência à compressão nas idades iniciais em períodos mais frios. Nesses casos, usualmente são empregados aditivos distintos para cada situação, de maneira a garantir o ciclo de produção da fábrica.

O uso de adições minerais (como sílica ativa e metacaulim) é comum na composição de traços de CAA, pois permitem o aumento de finos na mistura, favorecendo a melhora da coesão e viscosidade e a redução da exsudação e segregação (DAL MOLIM, 2011). Estudos de dosagem devem ser realizados para definição dos teores destas adições no concreto.

Em termos de propriedades físicas no estado endurecido, a resistência característica à compressão do CAA aplicado à indústria de concreto pré-fabricado abrange usualmente valores iguais ou superiores a 40MPa, fator associado ao nível de solitação de esforços das estruturas e à necessidade de saque das peças nas primeiras idades.

A determinação do módulo de elasticidade para o CAA é fundamental, pois o volume de argamassa desse tipo de concreto é mais elevado em relação ao CCV, podendo ocasionar a diminuição deste parâmetro físico e consequente aumento de contra-flechas em vigas protendidas e flechas em peças armadas. Nas fases de desenvolvimento ou mudança de traços de CAA, é fundamental a realização do ensaio de módulo, especificado na ABNT NBR 8522 (2008).

2.2 IMPLANTAÇÃO NA PLANTA DE PRODUÇÃO

Neste item, descreve-se a experiência ocorrida na implantação do CAA na planta de produção da empresa de estruturas em concreto pré-fabricado associada a este trabalho.

2.2.1 Histórico da implantação do CAA na operação da planta de produção

O interesse na aplicação do CAA surgiu pela dificuldade de produção de terças em concreto pré-fabricado protendidas com seção I, em pista de produção em bateria de 6 fôrmas paralelas com 60m de comprimento, onde, o emprego do CCV implicava dificuldades de adensamento do concreto com vibradores embutidos na própria fôrma e na dificuldade de seu lançamento e espalhamento.

Destaca-se o pioneirismo desta iniciativa no emprego do CAA em uma indústria de concreto pré-fabricado no Brasil e também o fato de que se estava no ano de 2000, sendo que a normalização nacional referente a este tipo de concreto ocorreria somente em 2010. Nesta iniciativa, foi fundamental o apoio técnico das equipes e dos laboratórios dos fabricantes de cimento e de aditivos químicos.

Os primeiros testes com CAA iniciaram-se em 2000, com estudos de dosagem empregando o aditivo a base éter policarboxilato, cimento CPV-ARI e composições com areia média (oriunda de rio), areia fina quartzosa (oriunda de cava) e a areia artificial.

No desenvolvimento do CAA, foram realizadas cerca de 40 composições de traços de concreto, até que se atingisse uma mistura estável com a seguinte composição: 60% de areia fina quartzosa e 40% de areia artificial, fíler calcáreo, brita 0 e aditivo (em torno de 1,0% em relação ao cimento).

Para implantação em escala, foi necessário previamente o aperfeiçoamento e treinamento das equipes da operação no tocante ao controle tecnológico em laboratório, preparo de concreto e concretagem em si.

O emprego do CAA exigiu maior rigor na verificação da qualidade dos agregados em geral, com especial atenção ao teor de presença de material pulverulento, e também no aumento da frequência da determinação da umidade dos agregados miúdos, realizada pelo método do frasco de Chapman, segundo a ABNT NBR 9775 (2011), e na estocagem das areias com o objetivo de se ter materiais com menor teor de umidade.

Tabela 3 – Resultados obtidos com emprego do CAA na pista de produção de terças

Item	CCV	CAA
Número de funcionários na etapa de concretagem e acabamento	5	3
Número de vibradores "carrapato" (fixos a fôrma)	12	0
Tempo de concretagem	4h	1,5h

Outro aspecto fundamental foi a realização do controle tecnológico do CAA na produção de concreto quanto à verificação da trabalhabilidade pelo ensaio de espalhamento, especialmente no início de cada concretagem em pistas de protensão.

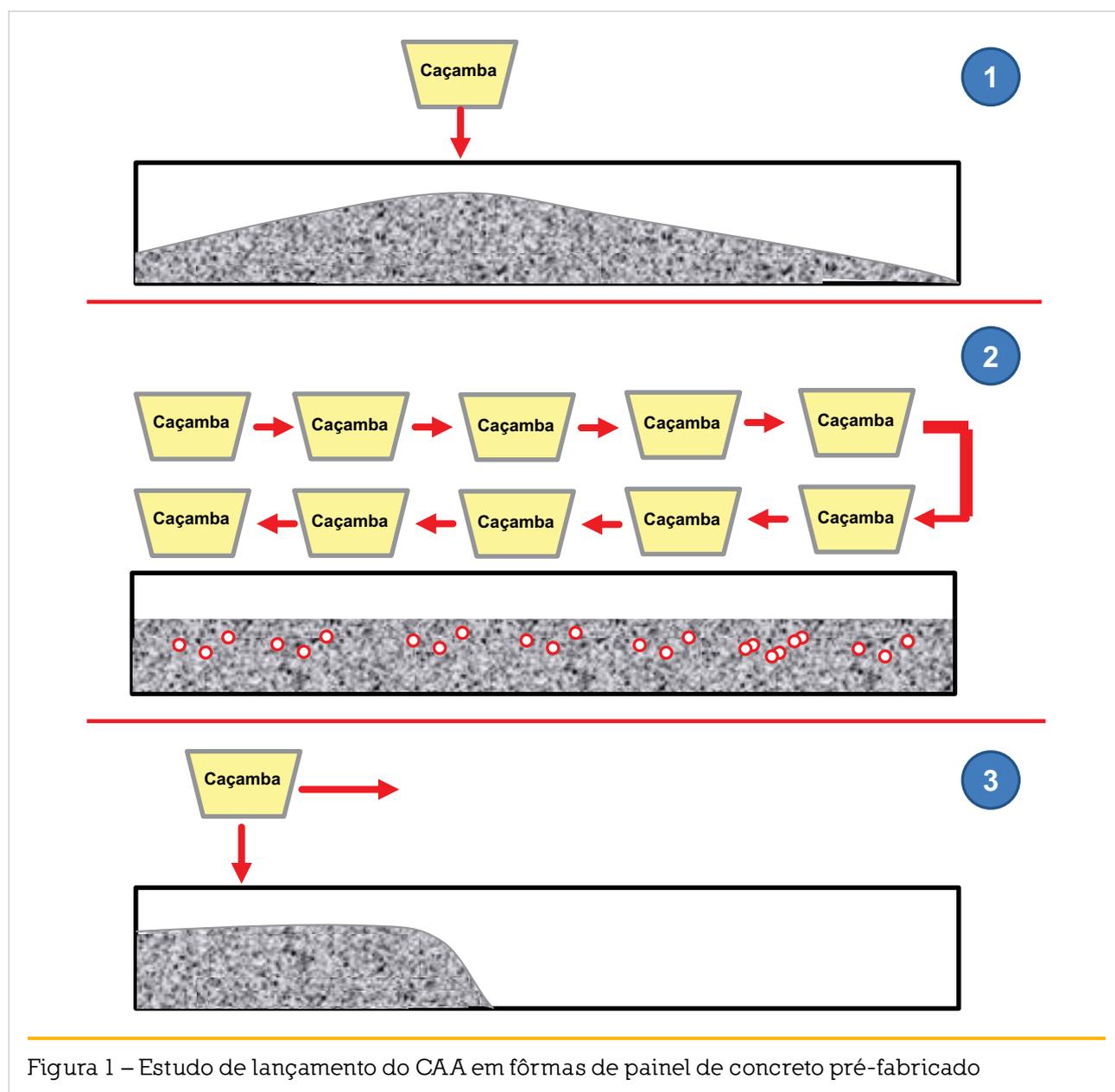
Foi relevante a adequação da caçamba de distribuição de concreto em termos de estanqueidade e do seu sistema de abertura para melhor controle de vazão, devido à maior fluidez do CAA.

Na fase de aplicação deste concreto em escala de produção, foram obtidos os resultados indicados na Tabela 3.

Em 2005, iniciou-se a produção de painéis de concre-

to armado com fôrmas verticais de 0,12m de largura, 1,5m de altura e 60m de comprimento. Devido à pequena espessura geométrica e à importância estética por se tratar de painéis de concreto aparente, adotou-se também aqui o emprego do CAA.

Neste período ocorreu uma nova bateria de testes antes de se iniciar a produção em escala, para determinação de traços, preparo do concreto na central e lançamento do mesmo nas fôrmas. Foi evidenciado que o tempo de mistura do concreto no misturador deveria atender a relação de 1m³/min. Quanto à forma de lançamento do concreto, constatou-se que, quando feito num único ponto fixo, obtinha-se



dificuldades no nivelamento, que o lançamento contínuo por camadas gerava aprisionamento de ar (Figura 1, situações 1 e 2) e que o melhor resultado acontecera com o lançamento sendo iniciado por uma das extremidades da fôrma, com a caçamba se movimentando em uma única direção, de maneira a gerar uma onda que empurrasse o concreto, evitando o aprisionamento de ar (Figura 1- situação 3).

Durante a etapa de concretagem das peças, verificou-se que a equipe envolvida deveria dar maior atenção à ocorrência de não conformidades, como a mudança da viscosidade e segregação do concreto, com exigência de imediato ajuste e correção do traço pela equipe de controle tecnológico na central de concreto.

Na busca de melhorias quanto à uniformidade e cor da superfície das peças acabadas, o traço foi ajustado com emprego de adição mineral, que, além das melhorias de acabamento, proporcionou maior estabilidade da mistura.

Foram realizados estudos comparativos com emprego do CAA e do CCV na produção dos painéis, onde constataram-se diversas vantagens:

- Redução em 30% do ciclo de produção em relação ao CCV;
- Redução de 50% da equipe de concretagem;
- Eliminação do uso de vibradores e manutenção dos mesmos;
- Melhora no ambiente de trabalho, tendo em vista a redução de ruído no preparo do concreto nos misturadores e no adensamento do concreto;
- Melhora do acabamento das peças produzidas;
- Satisfação dos clientes finais quanto à qualidade das peças;
- Uso de um concreto com tecnologia agregada e com melhora na durabilidade devido ao uso de adições na composição.

Em virtude destes fatores, em 2008, implantou-se o CAA

nas linhas de produção de vigas protendidas. O emprego deste concreto não foi utilizado nas demais linhas de produção devido à dificuldade quanto à distribuição do concreto decorrente do layout da antiga fábrica. O que passou a acontecer em 2010, após a inauguração de nova fábrica projetada com condições favoráveis à logística interna de distribuição do concreto.

Na nova fábrica, com o intuito de se produzir painéis com maiores dimensões, passou-se à produção dos mesmos em fôrmas horizontais. O emprego do CAA neste sistema de produção permitiu a obtenção da qualidade de acabamento, tanto da superfície de contato com a fôrma quanto na face de enchimento do concreto (Figura 2).

Os critérios de aceitação do CAA na produção de concreto no estado fresco foram adequados aos critérios normativos da ABNT NBR 15823 (2010), sendo a avaliação das propriedades associadas à fluidez/viscosidade e habilidade passante, relacionadas aos respectivos ensaios de espalhamento/t500 e anel J (Figura 3), realizadas na seguinte frequência:

- **Elementos estruturais armados:** realização dos ensaios uma vez ao dia por traço produzido;
- **Elementos estruturais protendidos:** realização dos ensaios no início de concretagem de pista protensão.

Em ambos os casos, um novo ensaio deve ser realizado sempre quando houver alteração na proporção dos materiais, ou paralisação e posterior retomada dos trabalhos.

2.3 DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA DE PRODUÇÃO

Os principais desenvolvimentos realizados na planta de produção de concreto pré-fabricado para emprego do CAA foram:

- Central de concreto: uso de misturadores planetá-



Figura 2 – Uso do CAA. (A) Concretagem de painel em concreto pré-fabricado, (B) Qualidade da superfície acabada



Figura 3 – Controle de qualidade. (A) Determinação da umidade do agregado miúdo, (B) Ensaio de espalhamento (*slump-flow*) e (C) Ensaio de anel J (*J-ring*)

rios com capacidade de 1,5m³ e inserção de sensores de umidade nas baias de agregado miúdo da central e no fundo do misturador (Figura 4); implantação de software de monitoramento de pesagem e investimento na estruturação de silo adicional para armazenamento de adição mineral;

- **Formas de produção:** melhora da estanqueidade das fôrmas com uso de cantoneiras de borracha, evitando a expulsão de argamassa em frestas das fôrmas (Figura 5);
- **Transporte do concreto:** uso de carrinhos transportadores de concreto para minimizar o efeito de segregação do CAA (Figura 6).

2.3.1 Controle tecnológico do concreto

O CAA tem a particularidade de ser uma mistura sensível a variações dos materiais componentes, sendo fundamental

o monitoramento dos fatores de interferência associados à produção deste concreto. Segundo Repette (2011), dentre as principais fontes de variabilidade do CAA, destacam-se: as características dos agregados miúdos, o teor de material pulverulento e de umidade, e a variação das propriedades dos teores de cimento e aditivos.

Para tanto, o controle no recebimento das matérias-primas e a caracterização dos agregados devem ser rigorosos, sendo importante a definição de faixas de tolerâncias de variações granulométricas dos materiais e limites de variação de finos.

Em termos de umidade, os sensores da central de concreto devem ser frequentemente verificados, sendo necessária a realização de ensaios comparativos em laboratório (frasco de Chapman) e um plano de calibração mensal (interna) e semestral (externo).

Recomenda-se a verificação sistemática das calibrações das balanças de agregados, cimentos e aditivos, rea-



Figura 4 – Central de concreto. (A) Misturador planetário e (B) sondas de umidade

lizadas com periodicidade mensal pelo laboratório da fábrica e semestral por empresa especializada, credenciada na Rede Brasileira de Calibração.

A necessidade de um profissional de Controle Tecnológico qualificado com base na formação e experiência torna-se fundamental, para executar correções imediatas na mistura quando identificadas não conformidades no concreto produzido, além de realizar estudos de dosagem para melhoria de desempenho, em

face da permanente evolução da tecnologia de aditivos e uso racional dos recursos, especialmente das matérias-primas.

A qualificação do tecnólogo de concreto, laboratoristas e inspetores de qualidade tem sido abordada pelo Programa de Qualificação de mão de obra do IBRACON, seguindo os critérios normativos da ABNT NBR 15146 (2011), sendo fundamental para especialização desses profissionais que trabalham com controle tecnológico em obras e em indústrias de concreto pré-fabricado.

2.4 ESTUDOS DAS PROPRIEDADES DO CAA

O conhecimento das propriedades físicas do CAA aplicado à produção de peças de concreto pré-fabricado é fundamental para o atendimento aos parâmetros de cálculo estabelecidos em projeto e comprovação da qualidade do mesmo.



Figura 5 – Vazamento da argamassa do CAA (ALENCAR, 2008)



Figura 6 – Transporte do concreto autoadensável com carrinho sobre trilhos

Tabela 4 – Resultados de resistência à compressão do concreto

Traço	Slump-flow (mm)	Classe do CAA	Fc real (MPa)	
			7d	28d
01	740	SF2	44,20	57,60
02	750	SF2	40,10	64,70
03	740	SF2	57,80	80,30

O CAA apresenta em sua composição um teor menor de agregado graúdo, o módulo de elasticidade tende a ser menor em relação ao concreto convencional de mesma resistência à compressão (REPETTE, 2011).

Neste contexto, apresentam-se dados de caracterização do CAA empregados na empresa em questão. Foram realizados ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade estático (MEE), seguindo as prescrições normativas nacionais. Esses ensaios foram realizados no laboratório da ABCP, sendo os resultados apresentados nas Tabelas 4 e 5.

A norma ABNT NBR 6118 (2014) abrange valores para módulos de elasticidade para concretos com resistência à compressão superiores a 50MPa. Neste contexto, os resultados obtidos nos ensaios foram comparados com os dados previstos na norma, sendo indicados na Figura 7.

Consoante com a maioria dos trabalhos brasileiros sobre módulo, o modelo de previsão do módulo adotado pela ABNT NBR 6118 (2014) superestima o módulo efetivo do concreto.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle tecnológico do concreto de forma a as-

Tabela 5 – Resultados do MEE dos CAA's estudados

Traço	Idade	Ecs (GPa)	Eci (GPa)
01	7d	28,2	33,2
	28d	34,1	40,1
02	7d	26,5	31,1
	28d	32,3	38,0
03	7d	30,0	35,3
	28d	35,2	41,4

segurar um baixo desvio padrão e o emprego frequente de concretos com resistências características superiores a 40MPa favorecem a implantação do concreto autoadensável na indústria de concreto pré-fabricado.

O processo em relação à mão de obra, métodos, meios, materiais e equipamentos deve ser criteriosamente avaliado durante a fase de implantação, na qual será necessária a introdução de mudanças e ajustes em relação à aplicação do concreto convencional.

Apesar dos inúmeros benefícios do CAA, deve-se avaliar caso a caso a real vantagem do sua utilização em relação ao uso do CCV.

No Brasil, tem havido na indústria de estruturas em concreto pré-fabricado um crescimento gradativo do CAA. Dados atualizados pela ABCIC, recentemente publicados no anuário 2013, mostram que 54,2% das empresas do setor indicou já produzir CAA. Entre essas, a produção já alcança cerca de 50% do total produzido. Neste sentido, e considerando a importante relação com o desenvolvimento sustentável da indústria do concreto, os autores entendem que o aprimoramento contínuo do uso da tecnologia e pesquisas mais aprofundadas com a presença do meio acadêmico na indústria devem orientar a evolução e melhoria contínua dos processos de aplicação e otimização de recursos. Entendem também que os movimentos institucionais, promovidos por entidades, como ABCIC e o IBRACON, entre outras, têm impulsionado as atividades de normalização, propiciando importantes referenciais para a indústria, a exemplo das normas de CAA e Qualificação Profissional, recentemente publicadas, utilizadas e referenciadas no presente trabalho.

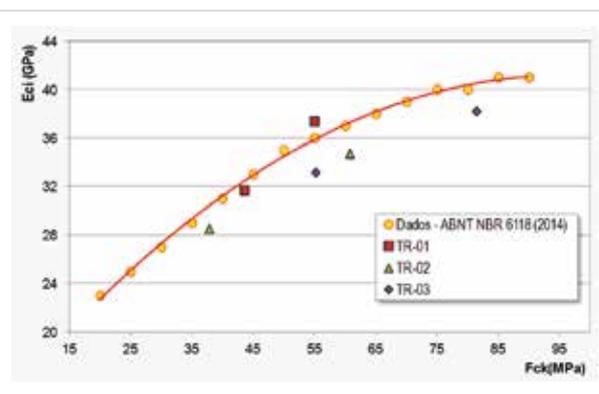


Figura 7 – Análise comparativa dos resultados de MEE obtidos dos CAA's

4. AGRADECIMENTOS

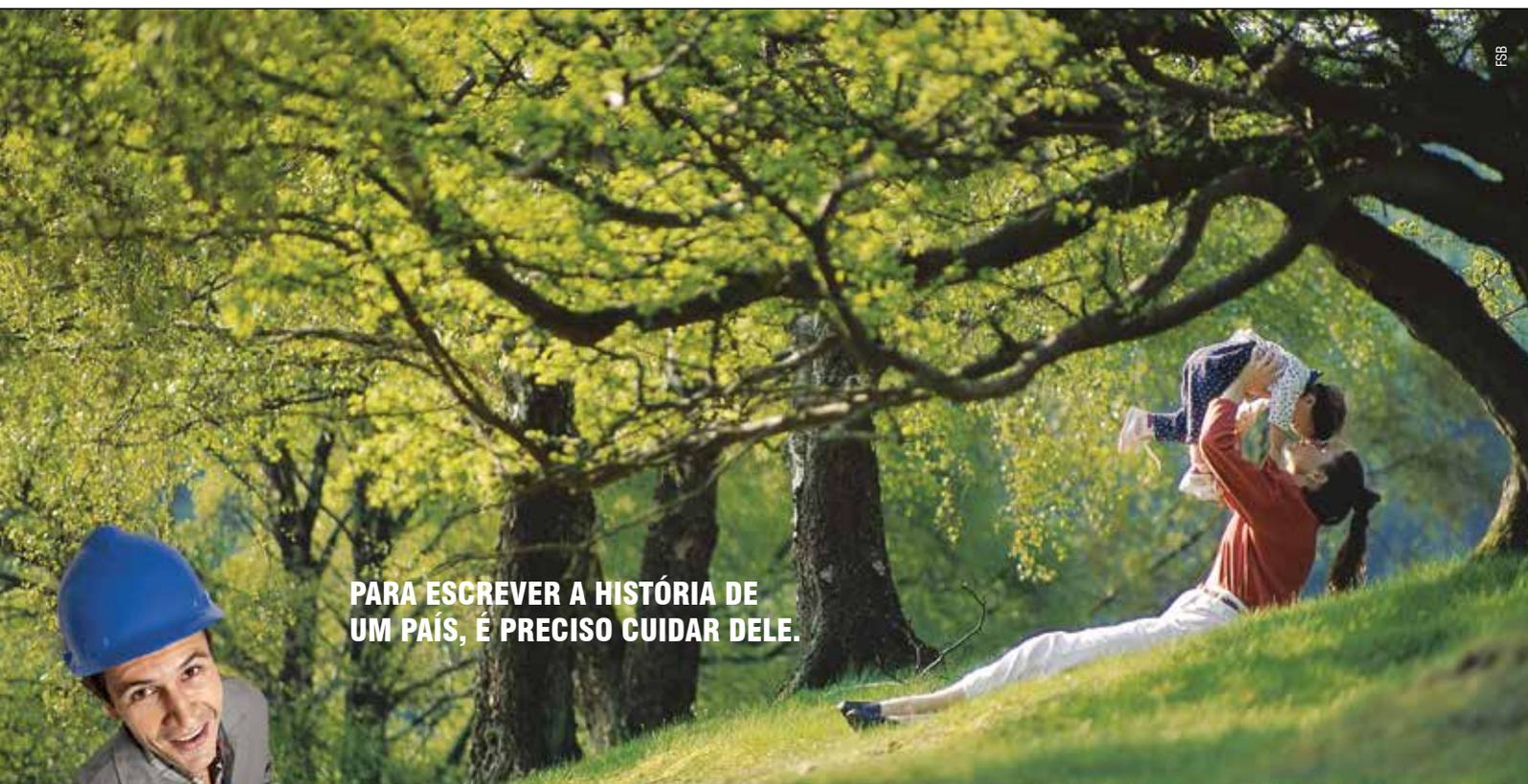
Os autores agradecem pelas contribuições para a realização deste artigo, proporcionadas pelas entidades ABCIC, ABNT/CB-18 e IBRACON, destacando as inestimáveis contribuições das engenheiras Inês Battagin e Íria Doniak e do Eng. Flávio Moreira Salles.

Fazemos também o nosso reconhecimento às empre-

sas Holcim, Master Builders Technology (BASF), Metacaulim, Sika e MC Bauchemie, pela parceria nos trabalhos conjuntos para o desenvolvimento do CAA. Por último, agradecemos à empresa Leonardi Construção Industrializada, que, pela sua cultura da busca da inovação, nos proporcionou a possibilidade de crescimento profissional, bem como pelo seu estímulo ao estudo e à publicação de artigos técnicos.

Referências Bibliográficas

- [01] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15823: Concreto auto-adensável. Rio de Janeiro, 2010.
- [02] _____. NBR 15146: Controle tecnológico de concreto – Qualificação de pessoal. Rio de Janeiro, 2011.
- [03] _____. NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- [04] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO – ABCIC. Anuário ABCIC 2013, São Paulo, 2013.
- [05] ALENCAR, R., HELENE, P., HONDA, J. Trabalhabilidade do concreto autoadensável: ensaios para dosagem, controle de qualidade e aceitação em obra. Revista Concreto e Construção, Ed.51, São Paulo, IBRACON, 2008.
- [06] ALENCAR, R. Dosagem do concreto auto-adensável: Produção de pré-fabricados. Dissertação de mestrado, Universidade Politécnica de São Paulo – USP, São Paulo, 2008.
- [07] DAL MOLIM, D. C. C., Adições minerais. In.: ISAIA, G.C. Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011.p.259-309.
- [08] GOMES, P. C. C., BARROS, A. R. Métodos de Dosagem de Concreto Autoadensável. São Paulo: Pini, 2009. 160 p.
- [09] REPETTE, W. L. Concreto auto-adensável Adições minerais. In.: ISAIA, G.C. Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011.p.1769-1806.
- [10] TUTIKIAN, B. F. Métodos para dosagem de concretos auto-adensáveis. 2004.148 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. ●



**PARA ESCREVER A HISTÓRIA DE
UM PAÍS, É PRECISO CUIDAR DELE.**

Para um país crescer, é preciso investimento. Mas é necessário também pensar no meio ambiente, na sociedade e nas futuras gerações.

A indústria do cimento investe em qualidade e utiliza as tecnologias mais avançadas para promover um desenvolvimento sustentável. Colabora ainda para tornar o meio ambiente mais limpo com o co-processamento: a destruição de resíduos industriais e pneus em seus fornos.

Onde tem gente tem cimento.



Sistema de tratamento da água usada na lavagem dos caminhões betoneiras

Concreto sustentável

Com a evolução da consciência humana da necessidade de preservação dos recursos naturais em benefício do planeta e, consequentemente, de nossos descendentes, cada vez mais a iniciativa para execução de atividades alinhadas com o conceito de sustentabilidade ganha força e importância em todas as áreas econômicas da sociedade.

A construção de uma obra de grande porte, como a Ponte de Laguna, componente do programa de duplicação da Rodovia BR 101 em Santa Catarina, envolve grandes volumes de concreto. Para construção desta obra, foi instalada uma central de concreto exclusiva, com capacidade para produzir, até o final dos trabalhos, cerca de 100.000 m³ de concreto. Todo este material produzido pela central é levado até o local de aplicação nas frentes de serviço através de caminhões betoneiras, embarcados em balsas.

Em se tratando de gestão de resíduos e consumo de água, estima-se que cerca de 2% do volume transportado fique retido no interior dos caminhões betoneira, havendo a necessidade de lavagem dos mesmos a cada carga. Este processo consome cerca de 500 litros de água por caminhão, que misturados aos restos de concreto, representam um gasto de recursos naturais (água, brita, areia, cimento) e um risco ao meio ambiente.

Objetivando minimizar os impactos ambientais deste processo, foi construído um sistema de tratamento na central de concreto, onde por simples decantação de

sólidos, é possível reaproveitar a água várias vezes para limpeza dos caminhões betoneira e os agregados na formação das pistas de acesso das obras, reduzindo o uso de recursos para essas funções. A água a ser descartada após tratamento é ainda utilizada para umectação das vias de acesso do canteiro de obras.

Com esta ação, evita-se a poluição dos corpos d'água pelos efluentes da lavagem de betoneiras, que podem causar assoreamento e aumento da turbidez dos corpos hídricos, sendo possível reduzir o consumo de água limpa para o processo de limpeza dos caminhões em aproximadamente 30%, utilizando-se uma área pequena para instalação e com manutenção extremamente simples.

Outro exemplo de sustentabilidade é o aproveitamento dos corpos de prova utilizados para a verificação da especificação do concreto ("traço"), antes de serem descartados, que são reaproveitados como guias nos estacionamento, passeios, etc.

Também por iniciativa dos próprios profissionais, foram adquiridas fôrmas plásticas para produção de lajotas sextavadas e meio-fios, fazendo-se o reaproveitamento de sobras do concreto na fabricação de material para calçadas e pavimentos. Com isso, além de evitar o destino dos restos de concreto para aterros ou bota-foras, as lajotas são utilizadas no calçamento das vias e pátios do canteiro de obras, como no escritório central e alojamentos. Além disso, diversas doações desses materiais

já foram realizadas a instituições que atendem pessoas em situação de vulnerabilidade social, como creches, associações de moradores e igrejas. O próprio resíduo de concreto seco da central, quando não aproveitado na obra para melhoria dos acessos, é doado a comunidades carentes para nivelamento de terrenos e melhoria de acessos da comunidade.

Em outra ação, a água da chuva que cai sobre o telhado do refeitório é coletada através de calhas e direcionada por tubulação até um reservatório na central de concreto da obra, onde a mesma é utilizada dentro do processo produtivo da central.

Considerando que a área coberta do refeitório é de 1.815 m², e com um volume médio mensal de chuvas de 150 mm/mês, consegue-se uma contribuição de aproximadamente 273.000 litros/mês, sendo esta também uma das importantes ações sustentáveis implantadas no processo produtivo relacionadas ao tema “água”.

Todas estas ações implementadas de maneira bastante simples na obra, mas insistentemente disseminadas entre os funcionários do projeto e a comunidade local,



Fôrmas plásticas para produção de lajotas sextavadas

agregam um valor inestimável ao meio ambiente, tendo em vista a redução considerável do uso de recursos naturais não renováveis e, principalmente, semeiam entre os envolvidos e seu círculo de influência a importância de atitudes e ações sustentáveis de preservação ambiental.

Luis Gustavo de Oliveira Zanin – GERENTE DE OBRAS

Leonardo de Oliveira Cadurim – COORDENADOR DE QUALIDADE

Reginaldo Cleber Esteves – COORDENADOR DE SUSTENTABILIDADE

Marcelo Fabiano Brum – GESTOR DE ADMINISTRAÇÃO CONTRATUAL

CONSÓRCIO PONTE DE LAGUNA (CAMARGO CORRÊA) ●

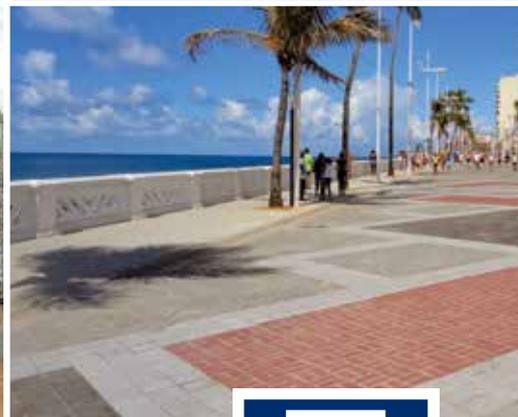
T&A. A SOLIDEZ DE UMA MARCA QUE ESTÁ PRESENTE DE NORTE A SUL DO PAÍS.



SHOPPING RIOMAR FORTALEZA



ESTALEIRO ENSEADA DO PARAGUAÇU



ORLA DE SALVADOR

A credibilidade da T&A Pré-Fabricados vem sendo contruída há 18 anos e hoje a empresa é uma das líderes do segmento de concreto no Brasil. Logística diferenciada, produtos de alto desempenho e oferta de soluções customizadas fazem da T&A o símbolo de uma engenharia inteligente e moderna. No seu próximo projeto, escolha a qualidade T&A.

Novidades na normalização do concreto e suas aplicações

1. ALINHAMENTO NECESSÁRIO

Após três anos de intenso trabalho, foram revisadas e estão sendo disponibilizadas para a sociedade três importantes Normas Técnicas de concreto, que se complementam e estão agora alinhadas em seu conteúdo.

A primeira delas, já publicada em nova versão e amplamente divulgada, em vigor desde 29 de maio último, trata do Projeto de Estruturas de Concreto (ABNT NBR 6118, antiga NB-1), que teve seu escopo ampliado e agora abrange também os concretos de alta resistência (chegando à classe C90).

Muitos avanços foram registrados na verificação da segurança e no dimensionamento estrutural, de forma a possibilitar essa nova abrangência e aproveitou-se para rever e aprimorar algumas questões importantes e, às vezes, polêmicas, como a conformidade do projeto. No campo da tecnologia do concreto, vale salientar a introdução de novas formulações para a estimativa do módulo de elasticidade, que passaram a incluir a possibilidade de correção dos resultados em função do tipo de agregado a ser utilizado, a exemplo do que já se pratica em outros países da Europa e América do Norte, além do alinhamento com as propostas da *fib* (*Federation Internationale du Beton*) para a consideração de valores de cálculo dos módulos tangente e secante, em especial para os concretos de maior resistência. No campo da durabilidade das estruturas, avançou-se um pouco mais com o estabelecimento de maiores cobrimentos para armaduras de elementos estruturais em contato com o solo e pela referência que agora é feita à Norma que trata da prevenção da reação álcali-agregado (ABNT NBR 15577-1), que deve ser consultada já na etapa de projeto.

Dando apoio e complementando os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 6118, foi atualizada e está em fase final de aprovação a nova versão da ABNT NBR 12655 (Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação).



Figura 1 – Estruturas de concreto do Edifício M. Bigucci (Fonte: ABCP)

Apesar de já contemplar os concretos de maior resistência há alguns anos e de ter mantido seu escopo original, a ABNT NBR 12655 foi atualizada de forma a referenciar novos documentos publicados após o ano de 2006, como a ABNT NBR 15823 (que trata do concreto autoadensável), a ABNT NBR 15900-1 (que estabelece os requisitos para a água utilizada no concreto) e as ABNT NBR 12653 e ABNT NBR 15894 (que estabelecem os requisitos de qualidade para os materiais pozolânicos, e em particular, para o metacaulim, respectivamente). Adicionalmente foram ajustadas algumas referências, como a aplicação da ABNT NBR 7680 para medidas complementares nos casos em que não se comprova o

atendimento à resistência especificada para o concreto, uma vez que a ABNT NBR 6118 não mais estabelece as diretrizes para essas situações. Aproveitou-se para avançar um pouco mais nos critérios de durabilidade, o que certamente auxiliará os profissionais da área a tirarem o melhor proveito das propriedades do concreto, incorporando na Norma um anexo informativo que prevê situações de extrema agressividade ambiental (via de regra para estruturas enterradas), a partir da consideração de uma gama maior de agentes agressivos. Nessa nova versão da ABNT NBR 12655, foram também feitos ajustes pontuais nos critérios estatísticos para a obtenção da resistência característica do concreto à compressão, estimada a partir dos valores obtidos em ensaios de corpos de prova moldados de concreto, de forma a facilitar o entendimento desse processo.



Figura 2 – Recebimento e aceitação do concreto na obra (Fonte: ABCP)

Finalmente a terceira Norma desse tripé, a ABNT NBR 7680, que vem completar o necessário alinhamento dos conceitos desse conjunto de documentos e foi a que mais alterações recebeu em seu processo de revisão, agora em fase final de aprovação.

Apesar de seu título estabelecer, desde 1983, quatro ações: extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto, a ABNT NBR 7680 não trazia informações suficientes à realização dessa análise, o que dificultava a comparação dos resultados de resistência de testemunhos (corpos de prova extraídos da estrutura) com aquela obtida em corpos de prova moldados para os ensaios de aceitação do concreto na obra (previstos na ABNT NBR 12655), além de tratar conjuntamente da extração de testemunhos cilíndricos e prismáticos de concreto.

Três anos de trabalho da Comissão de Estudo responsável pelo tema, no âmbito do ABNT/CB-18 (Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados da ABNT) possibilitaram alcançar o necessário consenso sobre o conteúdo do Projeto, que, tendo sido aprovado pela CE, seguiu para o processo de Consulta Nacional, tendo seu escopo ampliado, de forma a preencher as lacunas existentes e a dirimir muitas das dúvidas até então persistentes nesse processo.

No trabalho de revisão, inicialmente a Norma foi dividida em duas Partes, sendo a primeira direcionada a testemunhos cilíndricos de concreto e a segunda aos prismáticos, mais utilizados para a avaliação de pavimentos de concreto. A Parte 2 (testemunhos prismáticos) foi mantida com o escopo original e poderá vir a ser objeto de estudos mais aprofundados futuramente, pois é, até o momento, pouco exigida pelo meio técnico nacional e nada deixa a desejar a normas similares de outros países.

Assim, o principal foco dos trabalhos foi concentrado na Parte 1, que, a partir de um escopo limitado ao procedimento de extração de testemunhos de estruturas, passa agora a estabelecer critérios de amostragem (definindo a quantidade de testemunhos, em cada situação específica, e seu posicionamento na estrutura), procedimentos de preparação e ensaio mais detalhados, além de contemplar a análise dos resultados obtidos (estabelecendo coeficientes de correção das alterações sofridas pelo testemunho no processo construtivo e de extração, para possibilitar sua comparação com os resultados dos



Figura 3 – Extração de testemunhos de concreto (Fonte: PhD Engenharia)

corpos de prova moldados). Dessa forma, a ABNT NBR 7680-1 tem duas aplicações principais:

- estabelece os critérios para a aceitação definitiva do concreto em casos de não conformidade inicial, conforme a ABNT NBR 12655;
- serve de base à avaliação de estruturas existentes ou em execução, pela análise dos resultados de resistência de testemunhos extraídos, referenciando outros documentos normativos em situações específicas e direcionando ações a serem tomadas como complemento da avaliação e para garantia da segurança estrutural.

Com isso, a ABNT NBR 7680-1 permite esclarecer conflitos entre intervenientes do processo construtivo, promovendo a obtenção de informações consistentes para a avaliação da segurança estrutural (que deve ser elaborada com base na ABNT NBR 6118) e para a aceitação definitiva do concreto (complementando a ABNT NBR 12655).

2. NORMAS DE ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS CONSTRUÍDAS SOBRE BASES SÓLIDAS

O crescimento da pré-fabricação em concreto no Brasil tem ocorrido de forma acentuada nos últimos anos e estimulado o desenvolvimento de Normas Técnicas específicas, com o entendimento do Setor de que a normalização é um poderoso instrumento de popularização do conhecimento e da disseminação das boas práticas.

Atualmente, tomando como base o acervo normativo de países altamente desenvolvidos na fabricação e no

uso de elementos pré-moldados de concreto, mas estabelecendo o necessário paralelo com a realidade nacional, estão em desenvolvimento duas Normas Brasileiras que devem trazer importantes avanços para o setor e iguais benefícios para a sociedade:

- a Norma de Painéis Pré-Fabricados de Concreto (Projeto 18:600.19-001), que, pela diversidade de tipologias existentes do produto, tem buscado na normalização estrangeira e internacional as bases para sua elaboração, a partir dos padrões brasileiros de produção e utilização, estando em fase adiantada de desenvolvimento e estabelecendo requisitos para painéis estruturais e de vedação;
- a revisão da ABNT NBR 9062 – Projeto e execução de estruturas pré-moldadas de concreto, de forma a manter seu alinhamento com a ABNT NBR 6118 (agora em nova versão, publicada em 2014), e também com Normas que a complementam diretamente, como o Projeto de Norma de Painéis Pré-Fabricados acima referido, a ABNT NBR 14861:2011 (Lajes alveolares pré-moldadas de concreto protendido – Requisitos e procedimentos) e a ABNT NBR 16258:2014 (Estacas pré-fabricadas de concreto – Requisitos).

Neste cenário, vale ressaltar a conjugação de dois importantes fatores, a intensa participação da sociedade técnica brasileira no trabalho de normalização, reunindo produtores de insumos, pré-fabricadores, consumidores e membros da academia, e o intercâmbio de informações com entidades internacionais, em especial a *fib*, com a participação de representantes brasileiros no Comitê de

Pré-Fabricados da entidade, facilitando o direcionamento dos trabalhos de normalização nacional.

As metas desse trabalho vêm sendo paulatinamente alcançadas e consolidadas com requisitos de qualidade para os produtos e segurança para os consumidores.

3. MANUTENÇÃO, INSPEÇÃO E REFORMA, NOVAS NORMAS PARA ANTIGOS TEMAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Por sua popularidade e ineditismo, é pouco falar superficialmente da Norma de Desempenho (a ABNT NBR 15575), mas, de fato, não é ela a protagonista do tema a ser tratado aqui, mas sim as novas Normas ou as novas versões de Normas já publicadas, que de alguma forma a complementam diretamente, como a ABNT NBR 14037 e a ABNT NBR 5674, recentemente revisadas para ter seu conteúdo atualizado e ajustado às novas necessidades de atendimento aos preceitos relativos aos processos de uso e manutenção da edificação habitacional, estabelecidos na Norma de Desempenho.

A ABNT NBR 14037 traz os requisitos básicos para a elaboração do Manual de Uso, Operação e Manutenção da edificação e seus sistemas, que deve ser preparado de forma conjunta por incorporadores e construtores e entregue aos usuários dos imóveis, com informações detalhadas sobre como proceder em cada situação e quando acessar um especialista e até a própria construtora, dando suporte ao processo de gestão da manutenção previsto na ABNT NBR 5674, de forma a minimizar problemas de desentendimento entre as partes envolvidas e atender aos requisitos de vida útil e de desempenho ao longo desse período.

Não cabe aqui informar sobre os conceitos que dão embasamento a esses processos, mas salientar que apenas com o envolvimento de todos os intervenientes (inclusive e especialmente o usuário) será possível elevar o tempo de vida útil com o desempenho desejado das habitações.

A ABNT NBR 5674 é uma Norma de gestão e não entra no mérito de processos específicos de manutenção,



Figura 4 – Edificação construída com estruturas pré-fabricadas de concreto (Fonte: Precon)

que, sem dúvida, devem ser objeto de normas também específicas. Para as estruturas de concreto, há trabalhos internacionais de normalização que podem servir de base ao desenvolvimento das Normas Brasileiras, como se comentará mais adiante.

Nessa linha, a avaliação do estado de conservação e do desempenho ao longo do tempo de uma edificação dependem de processos de inspeção, cuja Norma Brasileira encontra-se em desenvolvimento no âmbito do ABNT/CB-02 (Comitê Brasileiro da Construção Civil da ABNT), devendo ser complementada por normas específicas futuramente e servir igualmente a construções para uso habitacional ou outros, na medida em que sua elaboração foi fortemente acelerada e impactada pela entrada em vigor de leis municipais, obrigando à realização de inspeções periódicas em construções já existentes.

Assim como o Projeto de Norma de Inspeção, a Norma de Reformas (ABNT NBR 16280:2014 Reforma em edificações – Sistema de gestão de reformas – Requisitos) vem atender a uma demanda da sociedade, na busca por processos que garantam a necessária segurança e aplica-se a processos de reformas de edifícios de forma geral.

4. O BRASIL NO CONTEXTO INTERNACIONAL

A normalização técnica brasileira atravessa um forte período de ajustes e atualizações, que tem como principais metas o atendimento às necessidades internas e uma maior aproximação do que se pratica internacionalmente, seja em termos de diretrizes do processo normativo ou do conteúdo técnico das Normas Nacionais.

Em todas as áreas cobertas pela Normalização Técnica, diferenças regionais e culturais muitas vezes dificultam o estabelecimento de requisitos únicos para diferentes países. No entanto, a efetiva participação brasileira nos foros internacionais de normalização é ainda o ponto crítico, que deve ser enfrentado, para o nosso alinhamento com as tendências observadas em países desenvolvidos; o que, em muitas situações, pode trazer a solução para algumas das lacunas da normalização brasileira e simultaneamente atender às nossas necessidades internas.

Em setembro deste ano, o Brasil receberá, pela primeira vez em sua história, a Assembléia Geral da ISO (*International Standardization for Organization*). Considerado o evento mais importante no âmbito da Normalização Técnica e já em sua 37^a. edição, a AGI trará

especialistas de todas as partes do mundo ao País e será uma oportunidade única para o estreitamento dos laços da Associação Brasileira de Normas Técnicas com suas congêneres de outras nações; o que pode ser um ponto positivo para o trabalho dos representantes brasileiros nos trabalhos internacionais nessa área.

Fazendo uma análise das alterações já provocadas por essa iniciativa, vale ressaltar que:

- como a atualização do acervo de Normas Técnicas é um dos pré-requisitos para a realização desse evento no País, realizou-se nos últimos anos um verdadeiro mutirão para a avaliação de documentos normativos, que resultou em processos de revisão, confirmação e cancelamento de Normas Técnicas. Como resultado, o índice de atualização, medido pelo percentual de Normas com menos de cinco anos de publicação ou confirmação, passou de um patamar da ordem de 7%, em 2008, para mais de 85% no final de 2013. Esse índice continua crescendo e a meta é atingir em breve o patamar final de 100% de documentos atualizados, que precisará de uma criteriosa programação de trabalho para ser mantido;
- a qualidade do acervo de Normas Técnicas Brasileiras também melhorou, pois reflete de forma mais realista o que efetivamente serve à sociedade e muitos documentos foram ou estão sendo atualizados. No entanto, a quantidade de Normas tem decrescido, com o cancelamento daquelas consideradas obsoletas, que não mais tinham aplicabilidade prática direta. Assim, de um total de cerca de dez mil documentos em 2008, tem-se atualmente pouco mais de oito mil, o que corresponde a uma quarta parte do acervo de Normas Técnicas de países desenvolvidos.

Cumprir ressaltar os elevados índices de adoção de documentos internacionais ou regionais praticados principalmente por países da Comunidade Europeia, o que tem gerado um grande dinamismo em seu processo de Normalização.

No caso brasileiro, não está em pauta a simples adoção de documentos estrangeiros ou internacionais, mas sim a participação da sociedade técnica nos foros internacionais de normalização, de forma a levar nossa contribuição àquele trabalho e trazer dele o que possamos aproveitar, em todas as áreas cobertas pela Normalização Técnica.

No campo particular do concreto, é intensa a atividade do ISO/TC71 (Comitê Internacional de Concreto, Concreto Armado e Concreto Protendido), liderada, desde 1993, pelo *ACI – American Concrete Institute*. O ISO/TC71 conta atualmente com sete

sub-comitês e cobre os principais campos da normalização internacional de concreto e estruturas de concreto, fazendo parcerias com outros Comitês Internacionais para temas como coordenação modular e desempenho (ISO/TC 159) ou gestão ambiental (ISO/TC207). O Brasil participa destes foros e tem sido seguidamente incentivado a assumir secretarias técnicas neste âmbito, por ser representado por especialistas de renome internacional, mas que ainda dependem de esforços próprios e muita resignação quanto ao suporte dado a esse trabalho.

Dentre os temas tratados nesse âmbito estão as Normas de manutenção de estruturas de concreto, anteriormente mencionadas, que constituem base importante para o trabalho a ser desenvolvido no Brasil.

5. CONCLUSÕES

Do exposto, depreende-se que há muito a ser feito no campo da normalização técnica brasileira, apesar de a ABNT este ano completar seu 74º aniversário de fundação e da crescente importância das Normas Técnicas no cenário nacional (tanto como instrumento de desenvolvimento, possibilitando a avaliação da conformidade de produtos e

serviços e sua certificação, como na solução de embates e problemas técnicos de diversas ordens).

Não se pretendeu neste artigo tratar exaustivamente das alterações realizadas nas Normas citadas e nem esclarecer sobre os fundamentos que geraram as novas revisões ou o desenvolvimento de novos documentos, mas apenas informar para a necessidade de conhecimento do conteúdo dessas e de outras Normas, que podem ser obtidas diretamente na ABNT (www.abnt.org.br).

No campo do concreto e suas aplicações, algumas entidades trabalham para o fortalecimento da atividade de normalização técnica, valendo ressaltar o papel do IBRACON, que por meio de seus Comitês Técnicos, tem participado desse processo, por entender que essa é uma das bases para o crescimento sustentável do País e convida todos os sócios da entidade a tomarem parte desse trabalho (maiores informações em <http://site.ibracon.org.br/index.php/comites-tecnicos-intro>).

Eng^a Inês L. S. Battagin
SUPERINTENDENTE DO ABNT/CB-18
DIRETORA TÉCNICA DO IBRACON ●

A maior linha de produtos químicos para construção civil

Obras bem protegidas. Sempre.

A Viapol oferece soluções customizadas para todo tipo de obra, com proteção e eficácia.

operamarketing.com.br

www.viapol.com.br
SP (11) 2107-3400
BA (71) 3507-9900



Associado ao Instituto Brasileiro de Impermeabilização



Nossa marca é proteger sua obra

56º Congresso Brasileiro do Concreto

O Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON promove, de 07 a 10 de outubro, em Natal, no Rio Grande do Norte, o 56º Congresso Brasileiro do Concreto, sob a bandeira “As construções em concreto como fator de integração entre as nações”.

Fórum de debates sobre a tecnologia do concreto e seus sistemas construtivos, o evento objetiva divulgar as pesquisas científicas e tecnológicas sobre o concreto e as estruturas de concreto, em termos de produtos e processos, práticas construtivas, normalização técnica, análise e projeto estrutural e sustentabilidade.

As inscrições para o evento estão abertas e poderão ser feitas on-line, a preços promocionais, até 08 de setembro. Empenhos também serão aceitos até essa data. Após 08 de setembro, as inscrições poderão ser feitas apenas no local, nos valores vigentes na ocasião.

Sendo uma associação sem fins lucrativos, de utilidade pública federal e estadual, cujas atividades são mantidas por seus associados individuais, coletivos e mantenedores, seja pela prestação de serviços de forma voluntária nessas atividades, seja contribuindo financeiramente com o Instituto, por meio do pagamento de anuidades, inscrições em eventos e compra de publicações, o IBRACON tem uma política de não concessão de descontos especiais nas inscrições do Congresso Brasileiro do Concreto. Inclusive toda a Diretoria do Instituto paga integralmente o valor de sua inscrição no evento.

PROGRAMAÇÃO

Serão apresentados, em sessões plenárias e pôsteres, mais de 500 trabalhos técnico-científicos que vem sendo desenvolvidos por pesquisadores em universidades, institutos de pesquisa e centros de inovação de empresas brasileiras e do exterior. Destaque especial será dado aos trabalhos nas áreas de infraestrutura e sustentabilidade, que serão apresentados no IV Simpósio de Infraestrutura Metroviária, Ferroviária e Rodoviária e no Seminário de Sustentabilidade.

Nas Conferências Plenárias, onde se apresentam especialistas nos variados campos de pesquisa e aplicação do



concreto, estão confirmados:

- Prof. André Pacheco de Assis (Universidade de Brasília e Associação Brasileira de Mecânica dos Solos) – “Tendências e Desafios da Engenharia de Túneis como Infraestrutura de Transporte”;
- Prof. Juergen Krieger (Federal Highway Research Institute of Germany – BAST, Alemanha) – “Management of aging Infrastructure – Challenges for Owners and Operators”;
- Prof. Hani Nassif (Universidade de New Jersey, Estados Unidos) – “Field monitoring of rebar vibrations in concrete bridge decks under traffic loads”;
- Prof. Weber Wigggenhauser (Federal Institute for Materials Research and Test – BAM, Alemanha) – “Nondestructive Evaluation of Bridges using Combined Methods”
- Prof. Lez Khazanovich (Universidade de Minnesota, Estados Unidos) – “Quantitative Ultrasonic Array Evaluation of Concrete Structures”;
- Prof. Rui Calçada (Universidade do Porto, Portugal) – “A vehicle-structure interaction method for analyzing the train running safety”;
- Prof. Paulo Monteiro (Universidade de Berkeley, Estados Unidos) – “Dois mil anos de tecnologia do concreto e os grandes desafios para o este milênio”

Três workshops estão previstos para ocorrer, agregando as visões de especialistas sobre os temas: fissuração do concreto massa; usinas eólicas; e estruturas especiais de concreto.

Parte do evento, a X Feibracon – Feira Brasileira das Construções em Concreto reunirá as empresas patrocinadoras e expositores, que estarão expondo seus produtos e serviços para o setor construtivo brasileiro. Os patrocinadores terão ainda a chance de apresentar novidades no Seminário das Novas Tecnologias.

O evento é aberto aos profissionais em geral do setor construtivo, engenheiros, técnicos, pesquisadores, empresários, fornecedores, construtores, empreiteiros, investidores, professores e estudantes, que queiram aprender mais, discutir e se atualizar sobre a tecnologia do concreto e de seus sistemas construtivos.

Seminário Pernambucano de Estruturas de Fundações

Promovido pela Regional do IBRACON em Pernambuco e pelo Núcleo Nordeste da Associação Brasileira de Mecânica de Solos (ABMS), o

Seminário Pernambucano de Estruturas de Fundações acontece no dia 04 de setembro, no Auditório da UNICAP.

3ª Semana Pensando em Concreto

Com o desafio de debater, discutir e divulgar a tecnologia do concreto, seu comportamento no estado fresco e endurecido, abordando especialmente as questões de especificação e controle tecnológico, que influenciam na qualidade, resistência e durabilidade das estruturas de concreto armado utilizadas na construção civil, além de disseminar o conhe-



Salvador, BA

cimento das normas técnicas disponíveis sobre esse tema, a 3ª Semana “Pensando em Concreto” vai ser realizada de 15 a 19 de setembro, no Auditório Leopoldo Amaral da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

O evento é promovido pelo Laboratório de Argamassa da Escola Politécnica (CETA) e apoiado pelo IBRACON.

II Mostracon

Com apoio institucional da Regional IBRACON no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e promoção do Sinduscon da região, a II Mostracon aconteceu de 04 a 07 de setembro último, no Center Convention de Uberlândia, feira de negócios e ciclo de palestras do setor da construção civil na região.

Dentro da programação, foram realizados o Salão Imo-

obiliário do Triângulo, a Mostra de Arquitetura e Design de Interiores e a Rodada de Negócios. Além do ciclo de palestras, o cronograma de atividades contemplou feira com mais de 100 expositores, agenda de relacionamento com o apoio do Sebrae-MG e competição de pontes de palitos entre as universidades. O público do evento foi cerca de 20 mil pessoas durante seus quatro dias.

IV Encontro sobre Tecnologia do Concreto



Campo Grande, MS

Com o tema “Tecnologias para a Reabilitação do Concreto”, o IV Encontro sobre Tecnologia do Concreto (ETEC 2014) aconteceu nos dias 15 e 16 de agosto, no Anfiteatro de Arquitetura da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

O evento trouxe o professor da Universidade Federal de Goiás (UFG) e conselheiro do IBRACON, Enio Pazini Figueiredo, para falar da reabilitação das estruturas do Maracanã. Ele e o engenheiro da MC, Emilio Takagi, ministraram o curso “Prática em Reabilitação de Estruturas de Concreto”. Takagi abordou também a teoria em reabilitação de estruturas de concreto em outro curso dentro da programação do ETEC 2014.

O evento contou com a presença de 100 participantes e foi apoiado pelo IBRACON.

Missão técnica internacional para o México

Em sua quinta edição, a Missão técnica propõe a realização de uma viagem para o México, na cidade de Mérida, onde o grupo, formado por 32 profissionais dos cursos da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), participará de um curso de técnicas avançadas para o diagnóstico de manifestações patológicas em estruturas de concreto, com duração de 40 horas.

A Missão, promovida pela Unisinos, vai acontecer de 29 de novembro a 07 de dezembro. Conta com apoio do Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil, Alconpat Brasil e IBRACON.

Neste ano, houve uma Missão para o 1º Congresso Brasileiro de Patologia das Construções, ocorrido em maio, na cidade de Foz do Iguaçu, no Paraná.



Para o ano que vem, deve haver uma Missão para Lisboa, para participação no XIII Congresso Latino-Americano de Patologia da Construção (Conpat 2015) e no XV Congresso de Controle de Qualidade na Construção, em setembro de 2015. ●

Revista CONCRETO & Construções

A revista CONCRETO & Construções é o veículo impresso oficial do IBRACON.

De caráter científico, tecnológico e informativo, a publicação traz artigos, entrevistas, reportagens e notícias de interesse para o setor construtivo e para a rede de ensino e pesquisa em arquitetura, engenharia civil e tecnologia.

Distribuída em todo território nacional aos profissionais em cargos de decisão, a revista é a plataforma ideal para a divulgação dos produtos e serviços que sua empresa tem a oferecer ao mercado construtivo.

PARA ANUNCIAR

Tel. 11- 3735-0202

arlene@ibracon.org.br

Formatos e investimentos

Formato	Dimensões	R\$
2ª capa + página 3	42,0 x 28,0 cm	9.050,00
Página dupla	42,0 x 28,0 cm	8.020,00
4ª capa	21,0 x 28,0 cm	6.130,00
2ª, 3ª capa ou página 3	21,0 x 28,0 cm	5.900,00
1ª página	21,0 x 28,0 cm	5.500,00
2/3 de página vertical	14,0 x 28,0 cm	4.125,00
½ página horizontal	21,0 x 14,0 cm	3.000,00
½ página vertical	10,5 x 28,0 cm	3.000,00
1/3 página horizontal	21,0 x 9,0 cm	3.000,00
1/3 página vertical	7,0 x 28,0 cm	3.000,00
1/4 página vertical	10,5 x 14,0 cm	2.580,00
Módulo 6,0 x 8,0 cm	6,0 x 8,0 cm	1.850,00
Encarte	Sob consulta	Sob consulta

Periodicidade	Trimestral
Número de páginas	104
Formato	21 x 28 cm
Papel	Couché 115 g
Capa plastificada	Couché 180 g
Acabamento	Lombada quadrada colada
Tiragem	5500 exemplares
Distribuição	Circulação controlada, auditada pelo IVC

Consulte o perfil dos profissionais e o ramo de atuação das empresas do mailing:
www.ibracon.org.br (link "Publicações")



IBRACON

XIII Conferência Internacional sobre Durabilidade de Materiais e Componentes Construtivos

- **Data:** 3 a 5 de setembro
- **Local:** Millenium Convention Center, em São Paulo – SP
- **Informações:** www.dbmc2014.org

Cobramseg 2014 - Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica

- **Data:** 9 a 13 de setembro
- **Local:** Centro de Convenções de Goiânia – GO
- **Informações:** www.cobramseg2014.com.br

II Seminário Latino-Americano de Protensão - SELAP

- **Data:** 12 e 13 de setembro
- **Local:** São Paulo – SP
- **Informações:** www.selap.com.br

VI Simpósio Latino-Americano sobre Tensoestruturas

- **Data:** 15 a 19 de setembro
- **Local:** Centro de Convenções Ulysses Guimarães – Brasília –DF
- **Informações:** www.iass2014.org

56º Congresso Brasileiro do Concreto

- **Data:** 7 a 10 de outubro
- **Local:** Centro de Convenções de Natal – RN
- **Informações:** www.ibracon.org.br

VI Congresso Internacional da Associação Argentina da Tecnologia do Concreto

- **Data:** 22 a 24 de outubro
- **Local:** Concórdia, Entre Rios – Argentina
- **Informações:** www.congresoath2014.com.ar

Feicon Batimat Nordeste

- **Data:** 22 a 24 de outubro
- **Local:** Centro de Convenções de Pernambuco – PE
- **Informações:** www.feiconne.com.br

17º Encontro Nacional de Engenharia e Consultoria Estrutural – ENECE 2014

- **Data:** 30 e 31 de outubro
- **Local:** São Paulo – SP
- **Informações:** www.abece.com.br

V Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas

- **Data:** 26 a 28 de novembro
- **Local:** Lisboa – Portugal
- **Informações:** www.jpee2014.lnec.pt



Anais do Congresso Brasileiro do Concreto

A cada ano o Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON realiza o Congresso Brasileiro do Concreto, maior fórum técnico nacional sobre a tecnologia do concreto e seus sistemas construtivos.

Passados 22 anos, os anais das 55 edições do evento – no começo o Congresso Brasileiro do Concreto era realizado duas vezes ao ano – constituem um acervo técnico-científico rico e vasto à disposição de estudantes e professores dos cursos de Engenharia Civil, Arquitetura e Tecnologia, de profissionais do setor construtivo brasileiro e da comunidade técnica em geral.

Os anais reúnem os artigos técnico-científicos que foram apresentados e debatidos nas edições do Congresso Brasileiro do Concreto, desde a fundação do IBRACON. São mais de 4000 contribuições de especialistas nacionais e estrangeiros sobre os mais variados temas:

- Aditivos e adições;
- Agregados;
- Cimentos;
- Argamassas;
- Alvenarias;
- Cálculo e análise estrutural;
- Concretos e concretos especiais;

- Controle tecnológico;
- Durabilidade;
- Fôrmas;
- Impermeabilização;
- Monitoramento;
- Inspeção e manutenção;
- Normalização;
- Patologia e recuperação;
- Processos construtivos; entre outros.

Uma verdadeira enciclopédia brasileira sobre o concreto! Fonte de consulta obrigatória para explorar as potencialidades do material construtivo mais consumido no mundo.

Os artigos podem também ser adquiridos individualmente na Loja Virtual do site www.ibracon.org.br. Na Loja Virtual, é possível escolher os artigos fazendo uma busca por palavras-chave.

PROMOÇÃO

Aproveite para adquirir os anais do 51º ao 54º a preços promocionais.

Saiba mais:

Tel. (11) 3735-0202

E-mail: marilene@ibracon.org.br

Loja Virtual: www.ibracon.org.br ●

ACREDITADO PELO INMETRO PARA CERTIFICAR
MÃO DE OBRA DA CONSTRUÇÃO CIVIL



PROGRAMA IBRACON DE QUALIFICAÇÃO E CERTIFICAÇÃO DE PESSOAL



O IBRACON É ORGANISMO CERTIFICADOR DE PESSOAS, ACREDITADO PELO INMETRO (OPC-10).

ESTÃO SENDO CERTIFICADOS AUXILIARES, LABORATORISTAS, TECNOLÓGISTAS E INSPETORES DAS EMPRESAS CONTRATANTES, CONSTRUTORAS, GERENCIADORAS E LABORATÓRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO.

O CERTIFICADO ATESTA QUE O PROFISSIONAL DOMINA OS CONHECIMENTOS EXIGIDOS PARA A REALIZAÇÃO DE ATIVIDADES DE CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO, ENTRE OS QUAIS AS ESPECIFICAÇÕES E PROCEDIMENTOS DE ENSAIOS CONTIDOS NAS NORMAS TÉCNICAS.

A CERTIFICAÇÃO É MAIS UM DIFERENCIAL COMPETITIVO PARA SUA EMPRESA: A GARANTIA DA QUALIFICAÇÃO DOS PROFISSIONAIS CONTRATADOS!

INSCRIÇÕES ABERTAS

On-line, com preços
promocionais até 8 de setembro.
Faça sua inscrição no site
www.ibracon.org.br.

7 a 10
de outubro

2014

Natal | RN

56^o IBRACON

Congresso
Brasileiro
DO
Concreto
NATAL-RN

2014

X FEIBRACON - FEIRA BRASILEIRA DAS CONSTRUÇÕES EM CONCRETO

SEMINÁRIO DAS NOVAS TECNOLOGIAS

CURSOS

- Sustentabilidade na Construção Civil
- Estruturas Pré-Fabricadas de Concreto

APRESENTAÇÃO DE TRABALHOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS

TEMAS

- Gestão e Normalização
- Materiais e Propriedades
- Projeto de Estruturas
- Métodos Construtivos
- Análise Estrutural
- Materiais e Produtos Específicos
- Sistemas Construtivos Específicos
- Sustentabilidade

PALESTRANTES CONFIRMADOS

- André Pacheco de Assis
(Universidade de Brasília, Brasil)
- Herbert Wiggerhauser
(BAM, Alemanha)
- Juergen Krieger
(Bast, Alemanha)
- Paulo Monteiro
(Universidade da Califórnia, EUA)
- Hani Nassif
(Universidade Rutgers, EUA)
- Jean-Pierre Olivier
(Universidade de Toulouse, França)
- Lev Khazanovich
(Universidade de Minnessota, EUA)

EVENTOS PARALELOS

- IV Simpósio sobre Infraestrutura Ferroviária, Metroviária e Rodoviária
- Workshop de Usinas Eólicas
- Seminário da Sustentabilidade
- Workshop "Fissuração do Concreto Massa"
- Workshop "Produções de Estruturas Especiais de Concreto"



REALIZAÇÃO



Rua Julieta do Espírito Santo Pinheiro, nº 68
Jardim Olimpia – CEP 05542-120 – São Paulo – SP – Brasil
Telefone (11) 3735-0202 | Fax (11) 3733-2190

www.ibracon.org.br
facebook.com/ibraconOffice
twitter.com/ibraconOffice