



# HIDRODEMOLIÇÃO NA INDÚSTRIA EÓLICA: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO RIO GRANDE DO NORTE

Nelson Faria<sup>1</sup>, Aquiles Ponte<sup>1</sup>, Johnny Silva<sup>2</sup>

1 DTS Dois A Tower System Pré-moldados Ltda.

2 Dois A Engenharia e Tecnologia Ltda.

Avenida Deodoro da Fonseca Nº 479, Natal, Brasil

[nelson.faria@doisats.com](mailto:nelson.faria@doisats.com), [aquilesgadelha@doisats.com](mailto:aquilesgadelha@doisats.com), [johnny@doisa.com](mailto:johnny@doisa.com)

## RESUMO

Esse artigo tem por objetivo apresentar uma metodologia de reparação de estruturas de concreto utilizando o processo de hidrodemolição para remoção de material. É sabido e amplamente utilizados na indústria civil em função do tipo e porte da estrutura a demolir a utilização de ferramentas como talhadeiras, martelões e martelos pneumáticos e elétricos nos processos de limpeza, apicoamento ou remoção de produtos cimentícios como concreto, cimento e graute. O nosso trabalho vem apresentar uma ferramenta amplamente utilizada na indústria naval, e que adaptada a indústria eólica, se tornou muito eficaz para reparação de aduelas de concreto, auxiliando nos reparos e grauteamentos horizontais e verticais de torres eólicas de aço e concreto.

**Palavras chave:** *Indústria Eólica, Torres Eólicas, Hidrodemolição, Indústria Civil.*

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se mundialmente pelo seu potencial eólico, ao longo dos últimos anos este potencial está se transformando em capacidade instalada, que atualmente é de 12,77 GW, segundo a ABEEOLICA (2018 [1]). No mundo, o Brasil se apresenta no TOP 10 de nova capacidade instalada, segundo relatório do GWEC (2018 [2]).

O uso de novas tecnologias, como torres mais altas e máquinas maiores para viabilizar ganho de potência, são iniciativas que têm resultado no aumento do desempenho das usinas. A utilização de torres em concreto pré-moldado é uma das soluções utilizadas, possuindo vantagens em relação às estruturas de aço tradicionais, que são a capacidade de atingir maiores alturas, com melhor comportamento dinâmico e fundações mais econômicas, bem como a menor necessidade de manutenção. (Chastre C, 2014 [3])

As torres de concreto são compostas de conjuntos de aduelas tensionadas, que durante sua produção ou montagem podem apresentar necessidade de reparos, sendo os mesmos estudados caso a caso para dispor da melhor solução sem que haja comprometimento da estrutura de concreto.

## 2 ESTUDO DE CASO

O presente trabalho possui natureza aplicada, objetivo descritivo e utilizou como procedimento técnico estudo de caso. Partindo da questão: Como efetuar reparos em aduelas de concreto pré-moldado com cortes precisos e sem provocar propagação de fissuras estando as mesmas tensionadas?

O caso descrito a seguir aconteceu em uma fábrica de torres eólicas de concreto situada no Rio Grande do Norte e teve o seu início na etapa de fechamento do molde, mas só foi evidenciado durante o processo de análise dimensional das peças pré-fabricadas que é realizado rotineiramente pela equipe do controle da qualidade. Seguindo o protocolo de medições realizados nas peças foram identificados desvios no alinhamento dos tirantes M36 (Figura 1) em aduelas concretadas que recebem o anel metálico.



Figura 1 - Tirantes de uma aduela pré-moldada de concreto (Fonte: Dois A Tower System).

A avaliação mostrou que os tirantes distanciavam da sua posição de projeto acima do máximo permitido (Figuras 2 e 3) impossibilitando qualquer ajuste dos tirantes para a montagem, visto que a liberdade máxima de movimento dos tirantes M36 não ultrapassava 1,5mm do eixo por projeto. Tal fato impossibilitaria a futura instalação do anel metálico e conseqüentemente toda a montagem da nacelle, hub e pás quando o tubo T5 formado por aduelas já estivesse montado.



Figuras 2 e 3 – Medições dos desalinhamentos dos tirantes (Fonte: Dois A Tower System).

Diante da problemática apresentada, algumas possibilidades de reparo foram consideradas no intuito de minimizar o impacto econômico e de prazo provocado pela rejeição da aduela. A primeira possibilidade de reparo a ser considerada foi no sentido de refazer a furação no flange do anel metálico para que acomodasse o desalinhamento dos tirantes irregulares. Esse cenário considerava que nenhuma atividade seria necessária nos tirantes ou no concreto, mas traria toda a intervenção de ajuste para os anéis metálicos. Verificou-se, após análise técnica que esse método de reparação geraria esforços não previstos nos tirantes durante o tensionamento e operação do aerogerador. Mesmo que fosse tecnicamente possível, seria necessário o envio do adaptador metálico à um centro de usinagem de precisão para que fossem reabertos os furos passantes no flange de acordo com o desvio encontrado na aduela de concreto, inviabilizando a solução mais uma vez em virtude do prazo estendido desta operação. Além do fato de o produto (torre) apresentar diferenças entre projetos, o que, para o cliente e equipe de O&M representaria um problema. A Figura 4 ilustra o estudo realizado a respeito do desalinhamento de cada tirante em uma aduela concretada.

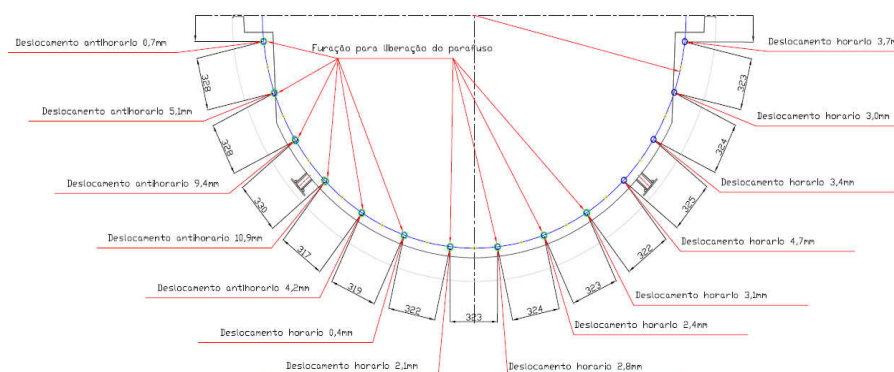


Figura 4 – Estudo do desalinhamento dos tirantes (Fonte: Dois A Tower System).

A segunda possibilidade de reparo considerada seria então manter o anel metálico conforme projeto e alinhar os tirantes embebidos no concreto. Para tal, primeiramente seria primordial definir a ferramenta adequada para a retirada do tirante sem que acarretassem danos nas ferragens próximas, nos outros tirantes que estavam de acordo com o projeto, como também nas cordoalhas que já haviam sido protendidas. O aparecimento de fissuras seria extremamente prejudicial devido a protensão previa da aduela para movimentação, podendo promover uma fratura indesejada ocasionando o descarte da peça. A remoção de material deveria respeitar apenas a área delimitada no entorno do tirante garantindo a limpeza das ferragens sem prejudicar a estrutura de concreto no entorno.

## 2.1 Equipamentos de demolição

A partir da decisão de qual procedimento desenvolver surgiu a interrogação de qual equipamento seria utilizado para remover o concreto sem agredir as ferragens e provocar possíveis danos irreparáveis a aduela. Surgiram então algumas opções que foram avaliadas na tentativa de desenvolver a ferramenta adequada para a reparação requerida.

O primeiro a ser estudado foi o martetele rompedor ou martelo rompedor. Com eles poder-se-ia quebrar o concreto no entorno do tirante e remove-lo para a substituição, no entanto, fatores como a dificuldade em acessar com a ponteira as áreas a serem demolidas sob a ferragem, o aparecimento de fissuras que poderiam aparecer provenientes da vibração do equipamento com a peça e ferragens e a necessidade de respeitar uma área precisa de corte poderiam inviabilizar a sua utilização.

A segunda alternativa pensada foi a demolição manual com a utilização de talhadeiras e marretas de 2kg, seria possível então alcançar áreas em que o martelo rompedor não atenderia, porém, a resistência do concreto de 60Mpa e a baixíssima produtividade com a utilização dessa ferramenta inviabilizaria essa alternativa.

Equipamentos de corte por fio ou disco diamantado também foram cogitados com relação a sua utilização mais nenhum dos dois conseguiria o alcance de demolição sem danificar a viga de ferragem no entorno do tirante (Figura 5) e ainda precisariam ser complementados por talhadeiras ou marteteles. Segundo premissas de projeto, estava desconsiderada a possibilidade de corte e danos nas ferragens, a mesma deveria permanecer íntegra e limpa depois da retirada do tirante e ser reutilizada.



Figura 5 – Detalhe da ferragem íntegra após o corte do concreto (Fonte: Dois A Tower System).

Considerando que as opções anteriores estavam descartadas pois não atendiam os requisitos exigidos para a reparação da aduela além dos riscos de perda da peça, foi considerada então o corte com água com pressão ultraelevada, utilizando bomba de hidrojato de ultra alta pressão - UAP (Figura 6), mesmo sendo uma opção menos comum e com o custo de mobilização mais elevado. A favor

desse processo pesavam os benefícios de ser eficaz para remoção do concreto sem propagar trinca e causar danos a ferragem, como também seria possível “recortar” a parcela de concreto desejada sem comprometer a região onde se encontravam os outros tirantes íntegros, ou seja, minimizando o risco da perda da aduela pré-fabricada.



Figura 6 – Bomba de hidrojato UAP (Fonte: DTS Dois A Tower System).

O motivo pelo qual a água pressurizada não provoca fissuras ou trincas indesejadas está no método de ataque da água ao substrato, o choque da água com pressão e velocidades ultra elevadas ( $P \geq 2000\text{bar}$ ,  $V \geq 1800\text{km/h}$ ) consegue penetrar no concreto e separar a estrutura preenchendo as cavidades porosas removendo de dentro para fora, em outras palavras, tem o poder de remover seletivamente os agregados do concreto (Figura 7) sem que uma grande parcela de material seja deslocada evitando assim o aparecimento de fissuras.



Figura 7 – Corte seletivo do concreto sem danos a ferragem (Fonte: CONJET AB, 2018 [4]).

A Tabela 1 foi elaborada para ajudar na escolha do melhor equipamento a ser utilizado no processo de reparação, a mesma apresenta as principais diferenças entre os diversos tipos de equipamentos analisados.

Tabela 1 – Comparativo entre equipamentos para demolição.

Características	Martelo rompedor	Corte por fio ou disco	Talhadeira manual	Hidrodemolição
Geração de fissuras	Sim	Não	Sim	Não
Danos as ferragens	Sim	Sim	Sim	Não
Alcance sob as barras	Não	Não	Não	Sim
Boa preparação da superfície	Não	Não	Não	Sim
Necessita descanso periódico do operador	Sim	Não	Sim	Sim

## 2.2 Procedimento de reparação

Uma vez determinada a ferramenta a ser utilizada, o próximo passo a ser dado seria a criação de um procedimento de reparação onde as etapas fossem definidas desde a identificação dos tirantes desalinhados até a conclusão com a inspeção final. O primeiro passo da reparação consiste na identificação dos tirantes a serem removidos (Figura 8).

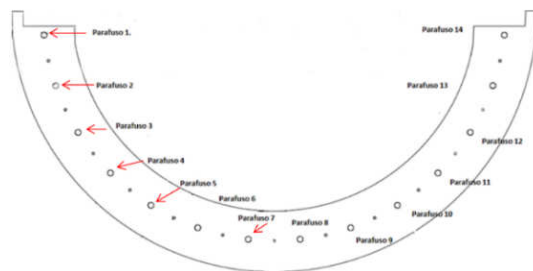


Figura 8 – Identificação dos tirantes a serem removidos (Fonte: Dois A Tower System).

O segundo passo é a identificação e marcação da área a ser hidrodemolidada (Figuras 9 e 10); Terceiro passo é a execução da hidrodemolição respeitando os limites preestabelecidos (Figuras 11 e 12); Quarto passo é o alinhamento e nivelamento da aduela para receber os tirantes substitutos (Figuras 13 e 14); Quinto passo é a instalação e posicionamento dos novos tirantes (Figura 15), respeitando os parâmetros de projeto; Sexto passo é conferir o alinhamento dos tirantes (Figura 16).



Figuras 9 e 10 – Identificação da área a ser hidrodemolidada (Fonte: Dois A Tower System).

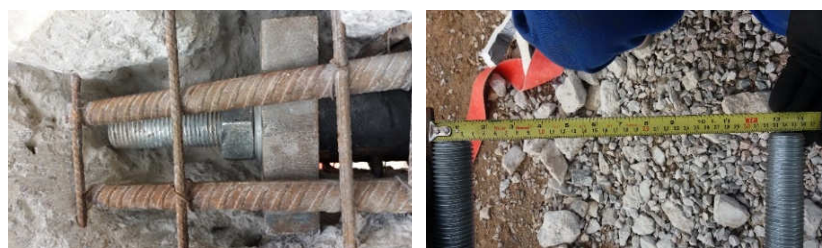




Figuras 11 e 12 – Execução da hidrodemolição (Fonte: Dois A Tower System).



Figuras 13 e 14 – Checagem do nivelamento da aduela (Fonte: Dois A Tower System).



Figuras 15 e 16 – Novos tirantes instalados à esquerda e checagem do nivelamento à direita (Fonte: Dois A Tower System).

Sétimo passo inserir fitas de vedação dupla face (Figura 17); Oitavo passo consiste em aplicar ponte de aderência no interior da região hidrodemolidada (Figura 18); Nono passo é realizar o fechamento com formas de madeira ou metálicas (Figura 19); Décimo passo é aplicar o graute adequado (Figura 20).

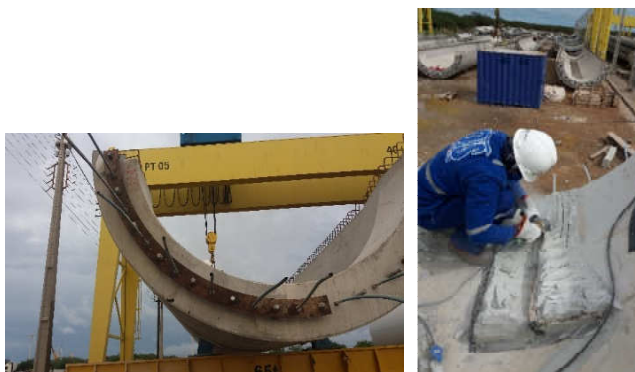


Figuras 17 e 18 – Detalhe fitas de vedação de dupla face à esquerda e aplicação de ponte de aderência à direita (Fonte: Dois A Tower System).

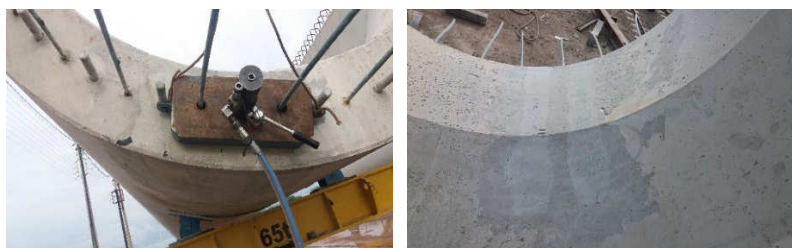


Figuras 19 e 20 – Detalhe instalação de formas à esquerda e aplicação do graute à direita (Fonte: Dois A Tower System).

Décimo primeiro passo é a remoção das formas; Décimo segundo passo é a conferência do alinhamento dos tirantes com o gabarito (Figura 21); Décimo terceiro passo é o acabamento da área com o lixamento (Figura 22); Décimo quarto passo é realizado o teste de tensionamento dos tirantes (Figura 23); Décimo quinto passo é a inspeção final e liberação da peça (Figura 24).



Figuras 21 e 22 – Detalhe conferência do alinhamento através de gabarito à esquerda e acabamento feito com lixamento à direita (Fonte: Dois A Tower System).



Figuras 23 e 24 – Detalhe teste de tensionamento do tirante à esquerda e peça finalizada à direita (Fonte: Dois A Tower System).





### 3 RESULTADOS

Com a atividade de hidrodemolição foi possível verificar algumas características que diferenciaram bastante dos outros métodos pensados para a atividade.

Foi possível perceber que não havia poeira gerada no processo mesmo devido a fragmentação do concreto, isso ocorreu em função da imediata umidificação do substrato no ato do corte da peça.

Foi verificado também que a remoção pode ser realizada seletivamente, ou seja, foi possível a retirada de camadas de concreto na profundidade e larguras desejadas permitindo a avaliação do corte desejado por etapas.

Em função da forma como a água penetra na porosidade do concreto e remove de dentro para fora o material, o processo de hidrodemolição não provocou vibração na ferragem nem no concreto e com isso não foi verificado nenhuma microfissura na aduela de concreto, as microfissuras seriam extremamente prejudiciais nessa etapa devido a protensão das cordoalhas.

A alta pressão de 2400bar e velocidade gerada no bico de saída da água de 1800km/h provocou uma limpeza superficial na ferragem deixando-os sem vestígios de corrosão e concreto aderido em toda a sua circunferência, facilitando os passos seguintes na aplicação da ponte de ancoragem.

A exposição dos agregados na região de corte se mostrou muito positiva no que diz respeito a rugosidade superficial, como ainda seria realizado o preenchimento com o graute na região reparada, o perfil de ancoragem criado pela água apresentou excelente qualidade para que houvesse a ligação do concreto com o graute.

Por fim, o tempo de reparação de cada tirante da aduela reduziu em 50% diminuindo em um dia a recuperação de cada elemento em função da crescente habilidade adquirida pelo operador da pistola e ajustes no posicionamento da peça permitindo o corte na região superior e inferior da aduela.

### 4 CONCLUSÕES

Conclui-se que o método de demolição de concreto por hidrojetamento se mostrou extremamente eficaz na indústria eólica para reparação de aduelas de concreto, podendo ainda ser expandido para recuperação de bases e toda estrutura pré-fabricada que necessite reparação. A alta produtividade e as características únicas desse processo como a não propagação de trincas, preservação das ferragens e precisão no corte habilitam o uso dessa tecnologia em reparações de pequeno e médio porte, onde a exigência dimensional e a integridade do resto da estrutura são requeridas.



## 5 REFERÊNCIAS

- [1] ABEEOLICA (2018). Associação Brasileira de Energia Eólica. Boletim Anual de Geração Eólica 2017. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2018/04/Boletim-Anual-de-Geracao-2017.pdf>. Acesso em 18 de maio 2018.
- [2] GWEC (2018). Global Wind Energy Council. Global Wind 2017 Report. Disponível em: <http://gwec.net/publications/global-wind-report-2/>. Acesso em: 18 de maio de 2018.
- [3] Chastre C., Lúcio V. (2014). Evolução histórica, desenvolvimento atual e potencial futuro das torres de concreto pré-moldado para suporte de aerogeradores. *IBRACON Concreto & Construções* 75: 24-34.
- [4] CONJET AB (2018). *Hydrodemolition*. Disponível em: <http://conjet.com/method/hydrodemolition/>. Acesso em 18 de maio de 2018.

## BIOGRAFIAS

**Nelson Faria** – Brasileiro, nascido em 05/09/1977. Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Especialista Técnico em Energia Eólica pelo Centro de Tecnologia do Gás e Energias Renováveis e Pós-Graduado MBA em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas.

Recentemente assumiu a gerência da divisão de Service da empresa DTS, onde dentre outras atividades, estão sendo realizados os estudos para o desenvolvimento da hidrodemolição na indústria eólica. Estudos no campo da pintura industrial também estão em andamento no sentido de adaptar robôs remotamente controlados para pintura na indústria eólica.

Sr. Faria é responsável pela gestão das áreas de manutenção industrial, pintura industrial, linha de montagem do último tramo da torre e manutenção de parques eólicos pela empresa DTS Doisa Tower System Pré-moldados Ltda.

**Aquiles Ponte** – Brasileiro, nascido em 24/03/1973. Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC) e Mestre (MSc) em Engineering Project Management pela University of Manchester Institute of Science and Technology (Inglaterra).

Atua em Project Management, Project Valuation, desenvolvimento de negócios, produção, qualidade, manufatura, engenharia e relações institucionais, em especial em grandes projetos de engenharia



como a construção de estaleiros, arenas e parques eólicos. Foi palestrante convidado em eventos nacionais e internacionais como o PRIVATE EQUITY WORLD 2011 by TERRAPIN – São Paulo / Brasil e o InovaConstruir 2017 - SINDUSCON/CE – Fortaleza / Brasil. Hoje é membro do Conselho Estratégico da ABCIC (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO). Participou, também de outras entidades como a BLOCOBRASIL (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE BLOCO DE CONCRETO) onde atuou como Diretor Regional.

Sr. Ponte é Diretor da T&A Pré-fabricados S.A. (onde também foi Presidente do Conselho) e Diretor da T&A Construções LTDA, uma dos sócios da DTS Dois A Tower System Ltda.

**Johnny Silva** – Brasileiro, nascido em 18/05/1987. Graduado em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho e Mestrando em Engenharia de Produção na UFRN.

Atualmente desenvolve pesquisa voltada ao gerenciamento de projetos de implantação de parques eólicos brasileiros. Possui experiência na construção de parques eólicos.

Sr. Silva é membro do Grupo de Pesquisa Cri-Ação, que aborda criatividade para inovação de produtos e processos aplicada às cadeias de energia eólica e solar. Estando também como Gerente de QSMS da Dois A Engenharia e Tecnologia Ltda.