

## A ascensão de uma estrela brilhante na tecnologia de medição do vento

### Consultoria Alemã difunde o conhecimento sobre os benefícios da inovadora tecnologia LiDAR

Além de uma estimativa confiável do custo de desenvolvimento e de operação, a questão básica a ser respondida para se ter sucesso no desenvolvimento de um projeto de energia eólica se refere ao rendimento esperado. Uma campanha de medição do vento bem planejada torna-se uma condição prévia decisiva para a determinação precisa do rendimento futuro de energia. Isso inclui o emprego de equipamentos de medição no estado-da-arte, que devem ser instalados e planejados por equipe qualificada e experiente.

Especialmente em locais de implementação de projetos grandes e complexos, ou onde a base de dados de vento existente não seja satisfatória, os riscos do projeto e as incertezas associadas só podem ser reduzidos por meio da realização de uma campanha de medição sofisticada. Isso implica que a utilização de uma torre de medição padrão sozinha não seja suficiente para mapear a completa situação do vento, especialmente em projetos com grandes áreas, comuns no Brasil, ou se altura do eixo das turbinas previstas exceda significativamente a 100 metros. Nestes casos, a utilização de dispositivos de medição a laser LiDAR (*Light Detection and Ranging*) mostra-se de grande potencial. Sendo assim, no presente artigo discute-se a aplicação do LiDAR e porque ele é indispensável para possibilitar uma análise adequada dos potenciais de uma planta eólica futura.

A aplicação de Dispositivos de Sensoriamento Remoto (DSR), tal qual o LiDAR, para medições de vento era muito incipiente para a indústria eólica até quatro anos atrás, entretanto, atualmente há mais de 1.000 equipamentos em operação em todo o mundo, o que significa um forte crescimento da sua aplicação nos últimos anos [1]. A maioria dos dispositivos ainda são operados em mercados eólicos mais maduros, onde a percepção e consciência de risco está mais enraizada devido à experiência dos investidores. No Brasil esse ganho de consciência também acompanha a tendência de maturidade, onde desenvolvedores já buscam por soluções otimizadas para a mitigação de riscos e incertezas.

Diversos estudos de pesquisas, como por exemplo, dentro do âmbito do projeto UpWind [2; 3], concluem que a tecnologia LiDAR tem potencial de melhorar substancialmente os cálculos de rendimento. No que diz respeito à aceitação de dados de medição do LiDAR como base para a elaboração de avaliações de rendimento de energia “bankable”, a Alemanha foi perscrutadora. A inclusão de medições autônomas do LiDAR nas diretrizes da TR6 [4] foi um passo decisivo dado em 2014 por este país.

### Vantagens – aplicação prática

Como o LiDAR funciona no dia-a-dia do negócio? Quais são os requisitos gerais a serem observados para o funcionamento em diferentes condições e tipos de terrenos? A BBB Umwelttechnik GmbH (BBB), empresa alemã de consultoria de engenharia fundada em 1996, é uma das principais empresas especialistas em recursos eólicos que possui uma relevante experiência adquirida nesse tipo de tecnologia. O escritório da BBB na Bavária é acreditado de acordo com a norma DIN EN ISO / IEC 17025: 2005 para fornecimento, instalação, comissionamento e operação de dispositivos LiDAR e de estações anemométricas de medição de vento, além de análise de dados. Sendo uma das primeiras consultorias em energia eólica na Alemanha, a BBB adquiriu seu primeiro dispositivo LiDAR em 2011 para oferecê-lo como alternativa de medição, além da anemometria clássica (isto é, anemômetros de copo instalados em mastro de medição), e para fins de pesquisas. Atualmente, a BBB possui seis dispositivos LiDAR próprios e também opera diversos dispositivos de clientes. Com um total acumulado de 15 anos de tempo de medição em 29 diferentes locais, predominantemente, em sites complexos, a BBB é considerada uma das principais empresas especialistas nessa tecnologia.

Uma das maiores vantagens da tecnologia LiDAR reside na sua flexibilidade. Os dispositivos podem ser realocados dentro do site do projeto com mínimo de esforço. A fim de tornar o sistema independente de uma rede elétrica, a BBB propõe a instalação dos dispositivos em pequenos trailers que operam com painéis fotovoltaicos, células de combustível e baterias. Isso permite a integração do dispositivo na solução off-grid e sua aplicação em locais remotos. Outra vantagem da tecnologia LiDAR é que ela está apta para medições dentro de áreas de florestas e vegetação densa. Como o LiDAR tem um ângulo de feixe de laser relativamente estreito, não é necessário a abertura de clareiras para preparar o local para a instalação da estação de medição, como normalmente se faz necessário no caso do SODAR (“SONic Detection And Ranging”), uma tecnologia similar ao LiDAR, porém com princípio de medição via ondas sonoras. Além disso, as medições do Lidar por serem a laser não são influenciados negativamente por sons da vegetação da floresta, como o das folhas das árvores.

Os dispositivos LiDAR para medição de vento são, geralmente, promovidos como sendo facilmente implementáveis para qualquer pessoa brevemente treinada. Thomas Latacz, chefe do departamento de medição de vento da BBB e um especialista amplamente reconhecido na área da tecnologia de Sensoriamento Remoto para fins de energia eólica, testou e analisou vários sistemas de medição a laser oferecidos no mercado e conhece suas limitações: "Com uma precisão comprovada de quase 100%, o LiDAR certamente abre novos horizontes para a indústria eólica – entretanto, ainda há muitas coisas a serem observadas para a aquisição de bases de dados satisfatórios. Por exemplo, a disponibilidade média de 99,4% de nossas medições com o LiDAR, por exemplo, foi alcançada devido a utilização do nosso Sistema de Monitoramento de Medição (MMS), desenvolvido internamente pela BBB e que permite uma supervisão permanente das medidas", ressalta Latacz com base no que tem observado em suas aplicações práticas e conhecimento sobre a tecnologia.

#### **Dados mais precisos para modelos de fluxo de vento mais precisos**

No que diz respeito à correta aplicação de DSR (por exemplo, LiDAR e SODAR), a DNV publicou uma importante diretriz em 2011 [5]. Trata-se de uma coleção de regras de boas práticas garantidoras que os dados compilados dos DSR sejam úteis para reduzir a incerteza nas avaliações de energia. Se as regras forem observadas, a realocação do dispositivo LiDAR para medir o vento em vários pontos na área do projeto pode ajudar substancialmente para o ganho de conhecimento e certeza sobre a situação real do vento. As predições horizontais cruzadas entre os dados da posição do mastro e dos locais de posicionamento do LiDAR, dentro de modelos teóricos (isto é, para modelos lineares como o WAsP em terreno simples ou modelos de CFD para sites complexos), podem assegurar que o modelo proporcione estimativas realistas dos rendimentos energéticos em todos os pontos no modelo. Dessa forma, potenciais desvios no modelo podem ser detectados e modificados – e as incertezas podem ser diminuídas. Isto proporciona grandes vantagens em comparação com campanhas de medições realizada com único mastro de medição.

Na Tab. 1 são apresentados os resultados consolidados da evolução de um projeto real realizado pela BBB. Trata-se de uma campanha de medição realizada combinando um mastro de medição fixo com o acompanhamento de medições realizadas por dois dispositivos LiDAR (nesse exemplo real, a opção do cliente foi de utilizar dois dispositivos para redução de tempo da campanha, embora um único dispositivo seja suficiente para mesmo propósito). A primeira vantagem desse arranjo está na informação sobre o gradiente para a extrapolação até a altura planejada do eixo e a diminuição parcial da incerteza associada para a extrapolação vertical. Em segundo lugar, esse arranjo permite a predição horizontal cruzada entre o mastro e o LiDAR na segunda posição. Isso facilita a calibração do modelo teórico de fluxo para executar a extrapolação horizontal de forma mais realística e com muito menos incerteza. O estudo apresentado esclarece os benefícios em matéria de redução da incerteza e aumento do prognóstico do rendimento energético (P75), que, obviamente, resulta em um aumento do valor do projeto.

Este cenário também retrata um outro benefício muito importante das medições com o LiDAR, isto é, a possibilidade de medir até 200 metros acima do nível do solo ou mais, cobrindo assim toda área de projeção do rotor, mesmo as das mais altas turbinas do mercado. A instalação de torres para cobrir toda a extensão do

rotor é muito cara e inviável técnica e/ou economicamente sob certas condições. Por conseguinte, a realização de uma medição adicional com LiDAR para a extrapolação vertical do gradiente, utilizando dados básicos provenientes de uma torre de medição de altitude inferior, apresenta-se como uma alternativa mais econômica e de menor curso. A extrapolação teórica para alturas mais elevadas do rotor, sem as informações do gradiente medido pelo LiDAR, pode levar a erros de interpretação do real perfil de vento. Por exemplo, as diferenças nas variações diurnas do vento comparando alturas de medições distintas no local não serão detectados, conforme verifica-se na Fig. 1.

### **Desempenho de Curvas de Potência de Turbinas e Avaliação de PAE com LiDAR**

Com relação à medição de desempenho da Curva de Potência de Turbinas e avaliação de Produção Anual de Energia (PAE), a velocidade do vento equivalente no rotor (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) se tornou foco de interesse nos últimos anos [6]. Neste contexto, o LiDAR desempenhará um papel importante, uma vez que permite a medição do perfil vertical em toda a projeção da área do rotor, da ponta mais baixa à mais alta das pás da turbina. As incertezas na estimativa da PAE podem ser reduzidas significativamente com a utilização do LiDAR, segundo estudos [13; 14]. Embora a norma atual da IEC [9] ainda não contemple a medição na área total de projeção do rotor, mas apenas na altura do eixo, a versão preliminar da próxima revisão da IEC 61400-12-1 [10] já incorpora especificações para a velocidade do vento equivalente no rotor e irá permitir a utilização do LiDAR para a medição do vento. A BBB, mais uma vez à frente do tempo, já realiza com sucesso medições de curva de potência por meio da tecnologia LiDAR (Fig. 3 e Fig. 4). O baixo desempenho de turbinas (em comparação com a curva de potência garantida), conforme mostrado na Fig. 4, pode ser detectado de forma eficiente para uma ou diversas turbinas de um parque eólico, em um período de tempo relativamente curto, usando a tecnologia LiDAR, permitindo, assim, um rápido tempo de resposta para a adaptação técnica necessária.

A fim de obter dados confiáveis de um DSR é fundamental verificar o seu desempenho e a saída de dados regularmente. Os objetivos de um teste de verificação de um LiDAR visam, em primeiro lugar, fornecer uma comprovação da precisão de medição e, em segundo, a estimativa dos desvios. Sabendo disso, torna-se viável a dedução de um fator de correção e a determinação de uma margem de incerteza correspondente. O LiDAR não é calibrado em túneis de vento como os anemômetros de copos. O desempenho do LiDAR é testado contra um mastro de medição do vento clássico erguido em terreno simples, que é equipado com anemômetros de copo e windvanes (Fig. 5). Os anemômetros de copos e windvanes servem como sensores de referência e devem ser instrumentos de 'primeira classe', classificado pelo IEC 61400-12-1 [9].

Os procedimentos e orientações para a verificação do LiDAR e análises associadas foram publicadas pela Agência Internacional da Energia [11] e por Gottschall et al. [12]. A BBB já realizou diversos testes de verificação e, como resultado, o LiDAR Windcube v2, por exemplo, sempre apresenta uma performance muito aderente com a de anemômetros clássicos de primeira classe, o que implica um desempenho muito bom deste tipo de LiDAR (Fig. 6), que prova a sua aptidão para a aplicação no campo das avaliações de energia eólica.

### **Estabelecimento de medições via LiDAR no Brasil**

Nos mercados de energia eólica maduros, como o da Alemanha, a tecnologia LiDAR já é amplamente difundida e aceita pelas partes interessadas e por relevantes instituições [7]. Nos mercados emergentes, como o Brasileiro, este ainda não é o caso. No Brasil, de acordo com as diretrizes da EPE [13], são obrigatórios 24 meses de medição do vento. No entanto, as medições de vento somente via LiDAR ainda não são permitidas para efeito de emissão de certificados de vento e de energia para os leilões públicos de venda de energia elétrica. Por outro lado, o LiDAR já é utilizado para dar maior nitidez nos prognósticos de rendimento energético e prospecção de novas áreas e vai obter um papel cada vez mais importante no futuro, uma vez que, particularmente no mercado Brasileiro, que têm um sistema de leilão, a pressão para redução das incertezas dos projetos é crescente.

Operando no Brasil desde 2011, a BBB abriu neste ano uma filial local. Em conformidade com a matriz alemã, a BBB Energias Renováveis Ltda. oferece uma ampla gama de serviços de engenharia e due diligence técnica. Afonso Pacheco, profundo conhecedor do mercado de energia eólica brasileiro, é o gerente geral da filial da BBB. Conhecendo bem a situação nacional, Pacheco vê claramente a necessidade de estudos mais confiáveis sobre a situação do vento e, conseqüentemente, para campanhas de medição mais sofisticadas. Para a promoção da tecnologia de sensoriamento remoto no Brasil e para fins de pesquisa, a BBB e a Universidade de São Paulo (USP) estão implementando um campo de teste para estudos de DSRs. Este projeto faz parte dos esforços da USP para construir um centro de pesquisas sobre energia eólica no Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEE), para capacitação técnica de alunos e pesquisadores de acordo com as demandas da indústria eólica brasileira [14]. Graças a cooperação Brasil-Alemanha, o grupo do IEE já está realizando investigações sobre a aplicação da tecnologia LiDAR.

Com intuito de implementar o campo de teste para análise de DSR no Brasil, a BBB qualificou-se para participar do *“dena Renewable Energy Solutions Programme”*, coordenado pela Agência Alemã de Energia *“Deutsche Energie-Agentur (dena)”*. O programa visa promover a transferências de conhecimento e tecnologia dentro da iniciativa *“renewables – Made in Germany”* e através do suporte financeiro do *“German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi)”*. A cooperação da BBB com uma das principais universidades no Brasil estabelece uma base promissora para a disseminação do conhecimento sobre as vantagens da aplicação da tecnologia LiDAR no Brasil e em outros mercados eólicos da América Latina.

## Tabelas e Figuras

Tab. 1: Redução de incerteza e melhora na TIR através da aplicação LiDAR com realocação em terreno complexo para uma altura do cubo planejado de 140m

Number of turbines		10	
Rated Power Wind farm		25MW	
Investment		49,350,000€	
Equity ratio		25%	
Equity		12,337,500€	
Scenario	Only met mast (100 m)  12 months	LiDAR next to mast  15 (+ 3 months)	Second LiDAR at other position within wind farm area  21 (+ 2 x 3 months)
Analyses	vertical cross prediction of the model	vertical cross prediction of the model and vertical extrapolation to hub height	vertical and horizontal cross prediction as well as vertical extrapolation
Total uncertainty	16.4%	14.1%	11.0%
Energy prognosis P50	100%	105.7%	105.8%
IRR (P50)	14.7%	18.1%	18.2%
Energy prognosis P75	88.9%	95.6%	98.0%
IRR (P75)	7.8%	12.0%	13.5%
Sum of CF for operating phase	14,025,551€	22,055,114€	24,810,944€

Fig. 1: Comportamento diurno da velocidade do vento entre 40 e 200 m acima do nível do solo

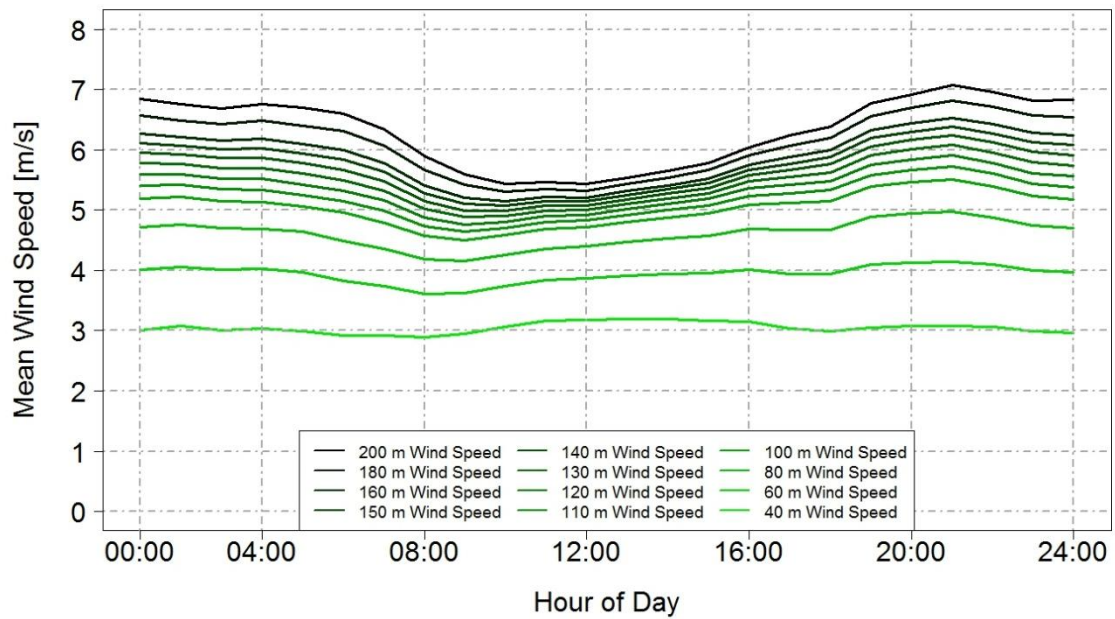


Fig. 2: Velocidade do vento equivalente no rotor

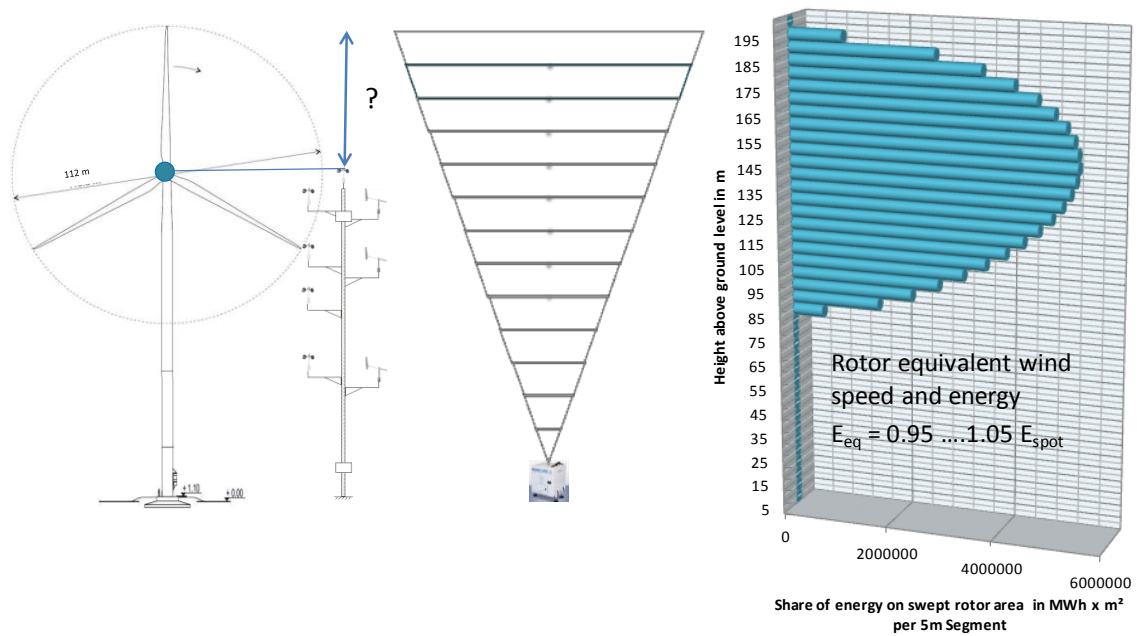


Fig. 3: Medição por LiDAR para teste de performance de turbina



Fig. 4: Curva de potência garantida (linha verde) x medido (box plots)

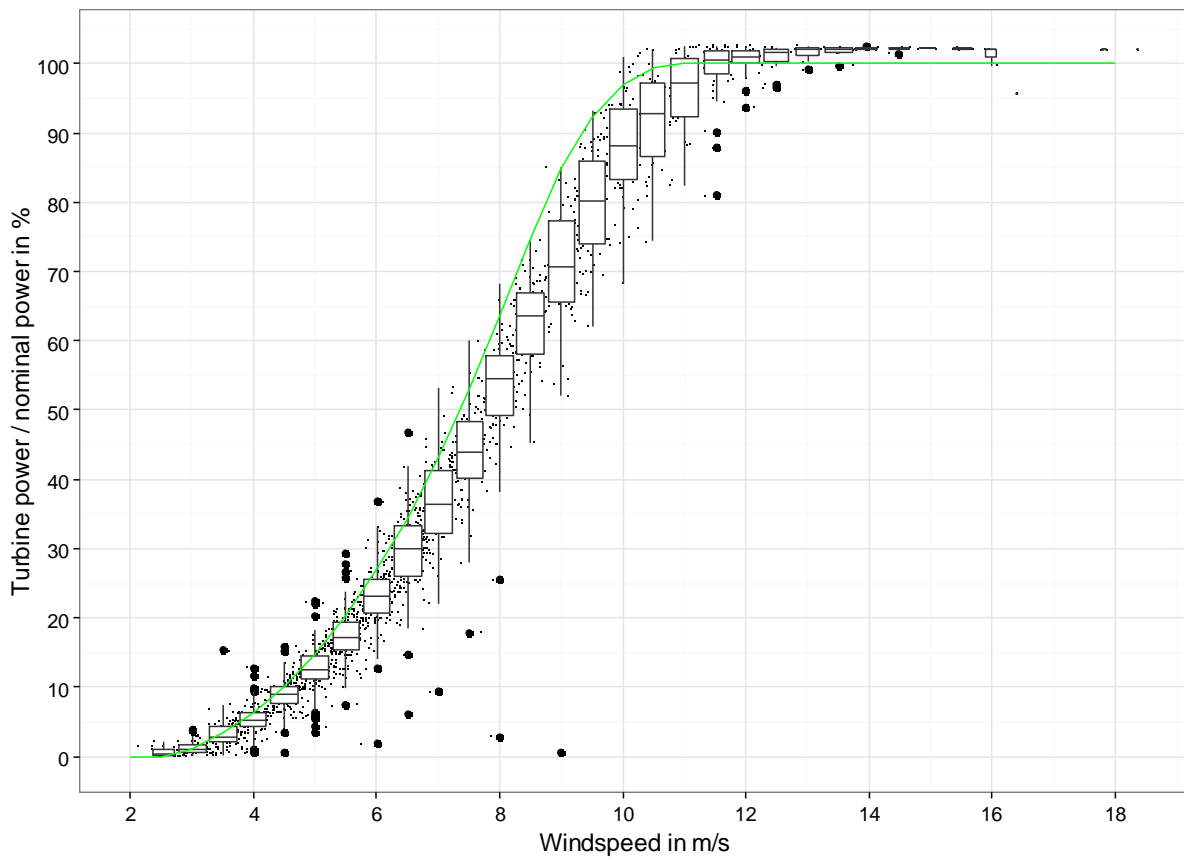
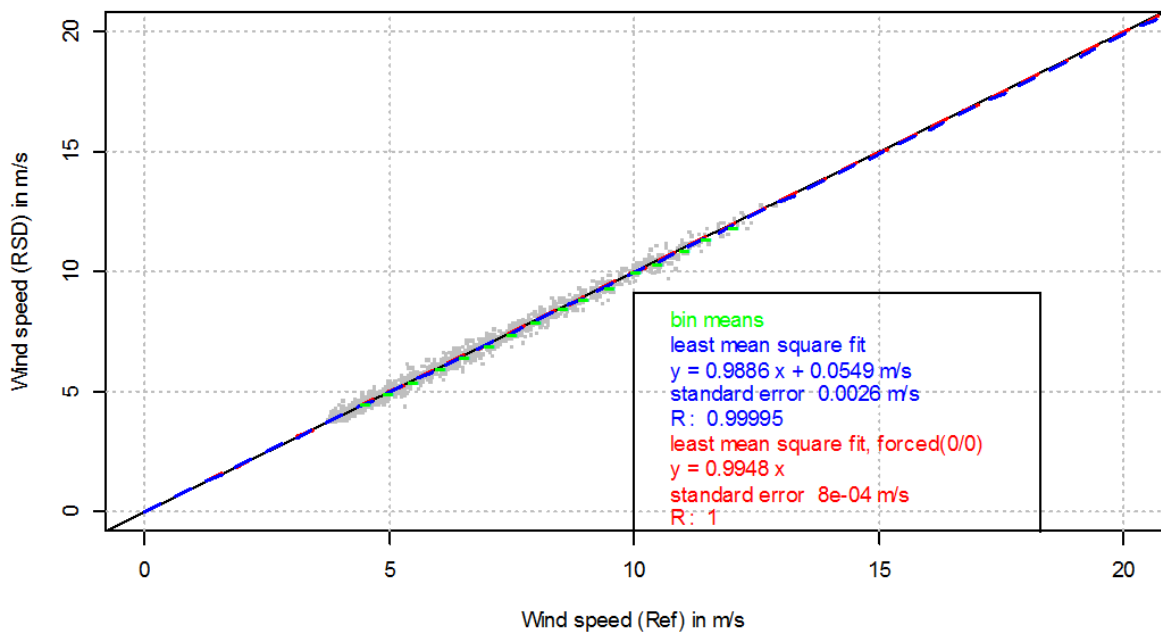




Fig. 5: Verificação de dois dispositivos LiDARs (dentro dos trailers) contra um mastro de medição – Campo de Verificação da BBB na Alemanha



Fig. 6: Velocidade do vento do LiDAR (eixo y – ordenada) versus velocidade do vento na Torre de referência (eixo x – abcissa). Método dos Mínimos Quadrados Ordinários com base nas médias dos ‘bins’.





## Bibliografia

- [1] E. Osler, "10 myths about wind LiDAR technology debunked," *Leosphere*, 2015. .
- [2] "The UpWind special issue," *Wind Energy*, vol. 15, no. 1, 2012.
- [3] N. Fichaux, J. Beurskens, P. H. Jensen, and J. Wilkes, "Design limits and solutions for very large wind turbines," 2011.
- [4] "Technical Guidelines for Wind Turbines - Part 6: Determination of Wind Potential and Energy Yield, Revision 9." Fördergesellschaft Windenergie und andere Erneuerbare Energien - FGW, pp. 1–52, 2015.
- [5] "Use of remote sensing for wind energy assessments," no. April. Det Norske Veritas, 2011.
- [6] R. Wagner, M. Courtney, J. Gottschall, and P. Lindelöw-Marsden, "Accounting for the speed shear in wind turbine power performance measurement," *Wind Energy*, vol. 14, no. 8, pp. 993–1004, 2011.
- [7] E. Dupont, Y. Lefranc, L. Soulier, and D. Koulibaly, "Detailed analysis of uncertainty reduction on power curve determination using lidar measurements," in *Proceeding of EWEA2 012*, 2012, no. April, pp. 16–19.
- [8] L. Simmons, M. Quick, A. Marsh, and S. George, "Power Performance Measurements Using Remote Sensing," in *AWEA Windpower Conference & Exhibition*, 2013.
- [9] "IEC 61400-12-1 Ed.1: Wind turbines - Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines." IEC, p. 92, 2005.
- [10] *Draft edition 2: IEC 61400-12-1 Wind turbines – Part 12-1 : Power performance measurements of electricity producing wind turbines*, Ed. 2., no. Cd. IEC, 2011.
- [11] A. Clifton, D. Elliott, and M. Courtney, Eds., *Ground-based vertically-profiling remote sensing for wind resource assessment*, 1st ed., vol. 15, no. January. IEA Wind, 2013.
- [12] J. Gottschall, M. S. Courtney, R. Wagner, H. E. Jørgensen, and I. Antoniou, "Lidar profilers in the context of wind energy—a verification procedure for traceable measurements," *Wind Energy*, vol. 15, no. 1, pp. 147–159, 2012.
- [13] "Instruções para Solicitação de Cadastramento e Habilitação Técnica com vistas à participação nos Leilões de Energia Elétrica," vol. r12. Empresa de Pesquisa Energética - EPE, Brasília, pp. 1–38, 2015.
- [14] Projeto de Cooperação científica IEE/USP e BBB: "Remote Sensing Test and Verification Site - dena Renewable Energy Solutions Project". homepage: [www.bbb-do-brasil.com](http://www.bbb-do-brasil.com).

## Informação Geral

Este projeto pertence ao programa “dena Renewable Energy Solutions” coordenado pela Deutsche Energie-Agentur (dena) – a Agência Alemã de Energia – e co-financiado pelo Ministério Federal Alemão de Economia e Energia (BMWi), inserido na iniciativa “renewables – Made in Germany”.

### Deutsche Energie-Agentur (dena)

A Deutsche Energie-Agentur (dena) – a Agência Alemã de Energia – é o centro de competências para a eficiência energética, fontes de energias renováveis e sistemas inteligentes de energia. O objetivo da dena é garantir que a energia seja usada o mais eficiente, segura e economicamente possível com o menor impacto sobre o meio ambiente, em ambos os contextos nacional e internacional. Para alcançar este objetivo, a agência trabalha com vários investidores do mundo da política, da economia e da sociedade em geral. Os acionistas da dena são a República Federal da Alemanha, o KfW Bankengruppe, a Allianz SE, a Deutsche Bank AG e a DZ BANK AG.

» [www.dena.de/en](http://www.dena.de/en)

### Energias renováveis – Made in Germany

A iniciativa “energias renováveis – Made in Germany” foi lançada pelo Parlamento Alemão em 2002 e é gerida pelo Ministério Federal Alemão de Economia e Energia (BMWi). O objetivo principal é contribuir para a proteção do meio ambiente, estimulando a aceitação e o uso de energias renováveis à escala mundial.

» [www.renewables-made-in-germany.com](http://www.renewables-made-in-germany.com)

### Programa „Renewable Energy Solutions” da dena

O programa RES (Renewable Energy Solutions) foi desenvolvido pela Deutsche Energie-Agentur (dena) – a Agência Alemã de Energia. Lançado em 2004, este programa, cofinanciado pelo Ministério Federal Alemão de Economia e Energia (BMWi), apoia empresas alemãs de energias renováveis a entrarem em novos mercados. No âmbito deste programa, projetos de referência e de demonstração são instalados em instituições selecionadas, em diferentes países. A instalação é acompanhada por programas de marketing e de treino abrangentes. Estes projetos-piloto apresentam uma impressionante tecnologia de energias renováveis de alta qualidade Made in Germany.

» [www.renewables-made-in-germany.com](http://www.renewables-made-in-germany.com)

### BBB Umwelttechnik GmbH

Desde 1996 a BBB Umwelttechnik presta serviços especializados de engenharia para desenvolvedores de projetos, empresas, investidores e bancos em âmbito internacional. O escopo de serviços da BBB cobre todos aspectos relativos ao desenvolvimento de um projeto de energia eólica. Ele inclui serviços de avaliações de recursos eólicos certificados e aceitos por bancos (*bankable*), serviços de planejamento de projetos e de engenharia (layout de parque eólicos, infraestrutura e projeto elétrico, compras e supervisão de construção etc.) e é complementado por avaliações de projetos e due diligencies conforme requerido em transações de Aquisição e Fusão. A equipe de especialistas qualificados da BBB na Alemanha e no Brasil, bem como sua rede de colaboradores em vários países do continente europeu, estão disponíveis para realizar todos os serviços oferecidos no portfólio da BBB, alinhado com o conhecimento sobre as condições específicas do mercado e arcabouço regulatório locais.