

REVISTA



SOLUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO PAÍS

VOLUME 5 - Nº 54 - Junho / 2010
ISSN - 1809-3957

ARTIGOS PUBLICADOS

PUBLICAÇÃO MENSAL

Nesta edição

MELHORIA DE DISPONIBILIDADE DE UNIDADE GERADORA COM IMPLANTAÇÃO DE MÁQUINA LIMPA GRADE EM TOMADAS D'ÁGUA NUMA CENTRAL HIDROELÉTRICA – Alexandre Varallo.....2

RECUPERAÇÃO DAS PÁS DE TURBINA DE UM GERADOR EÓLICO E DETERMINAÇÃO DE SEU RENDIMENTO – Gustavo Henrique Rossetti Geroto e Teófilo Miguel de Souza 5



Atendimento:

contato@sodebras.com.br

Acesso:

<http://www.sodebras.com.br>



MELHORIA DE DISPONIBILIDADE DE UNIDADE GERADORA COM IMPLANTAÇÃO DE MÁQUINA LIMPA GRADE EM TOMADAS D'ÁGUA NUMA CENTRAL HIDROELÉTRICA

A. T. Varallo, Dep Eng Mecânica/UNITAU
alexandre.varallo@yahoo.com.br

Resumo -- A implantação de máquina limpa grades em tomadas d'água em centrais hidroelétrica aumenta a disponibilidade de unidades geradoras com a diminuição de paradas para limpeza das grades devido ao acúmulo de detritos capazes de aumentar a obstrução dos painéis das grades.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos devido às regras de disponibilidade de unidades geradoras solicitadas pelos órgãos reguladores do sistema nacional de energia no Brasil, a preocupação com a parada das unidades geradas devido ao acúmulo de detritos sobre os painéis de grades das tomadas d'água, tem preocupado as empresas geradoras de energia. Um dos recursos disponíveis para a diminuição de detritos, fig. 1 e 2, nas grades tem sido a implementação de máquinas capazes de executar a limpeza dos painéis sem a necessidade da parada das unidades geradoras, pois pelo processo manual com a utilização de recursos através de mergulhadores obrigam as empresas de indisponibilizar às unidades geradas devido às regras de segurança necessárias para este tipo de procedimento. Uma das propostas para a implantação de máquinas capazes de executarem a limpeza dos painéis das grades em centrais existentes é a utilização dos pórticos das tomadas d'água.



Fig. 1. Detritos existentes na tomada d'água



Fig. 2. Detritos existentes na tomada d'água

METODOLOGIA

Um dos métodos para implantação de máquinas limpa grades em tomadas d'água em centrais existentes é a utilização das estruturas dos equipamentos de movimentação existentes neste local, exemplo nos pórticos rolantes utilizados para a movimentação das comportas de operação e manutenção, e dos painéis das grades. Para esta implementação, faz necessário o conhecimento das condições estruturais dos equipamentos, o projeto das estruturas para análise das limitações do equipamento quanto a carregamento da máquina limpa grade, quais as condições de operação do pórtico com relação as operações de manuseio dos equipamentos da tomada d'água, principalmente a operação de retirada e colocação dos painéis nas ranhuras das grades, pois caso as elevações principais ou auxiliares sejam utilizadas para essa operação, deve-se analisar a possibilidade de implementar um outro sistema de levantamento capaz de substituir possível restrição do equipamento. Este estudo foi realizado considerando um pórtico existente, fig. 3, projetado para a movimentação de painéis de comportas ensecadeiras e grades através do gancho do sistema instalado no carro do pórtico.



Fig. 3 – Pórtico Existente numa Tomada d'água (do autor)

Para a implantação do sistema de limpeza de grade na estrutura do pórtico utilizou-se o vão existente entre as pernas de montante para instalar a estrutura necessária como: guias laterais para o rastelo de limpeza, rastelo de limpeza, plataformas para a montagem do sistema de motor-tambor necessário para a movimentação do rastelo, fig. 4, rampa para o direcionamento dos detritos retirados pelo rastelo dos painéis das grades, fig. 5.

Além dos sistemas de levantamento do rastelo, também necessita de um sistema capaz de abri-lo. Nesse caso, implantou-se um sistema hidráulico composto de dois cilindros hidráulicos sincronizados que quando acionados abrem a concha do rastelo, fig. 6.



Fig. 4 – Plataforma e motor-tambor de levantamento do rastelo (do autor)



Fig. 5 – Rampa para o direcionamento dos detritos após abertura do rastelo (do autor)



Fig. 6 – Sistema hidráulico para abertura da concha do rastelo (do autor)

RESULTADOS

Os resultados médios comparativos após a implantação da máquina limpas grades na estrutura do pórtico foram dentro do esperado como pode ser visto na fig. 7.



Fig. 7 – Operação de limpeza da grade com o rastelo



Fig. 8 – Tronco retirado pelo rastelo do painel da grade (do autor)

Os resultados apresentados permitiram comprovar as seguintes vantagens:

- Diminuição do tempo de unidade gerado parada. Os painéis das grades podem ser limpas mesmo com a unidade gerando.
- Redução na perda de carga da grade. A limpeza faz com que a obstrução dos painéis diminua e conseqüentemente a perda de carga na grade.
- Diminuição do risco de trabalho na tomada d'água. Com a implementação da máquina limpa grade observou-se a diminuição da

necessidade de trabalhos realizados com equipes de mergulho.

- Diminuição do tempo necessário para a limpeza dos painéis das grades. As velocidades consideradas no rastelo permitem a limpeza pela máquina mais rápida do que a operação realizada com equipes de mergulho.

CONCLUSÕES

Pelo os resultados obtidos, pode-se verificar que a implementação de máquinas de limpa grade em tomadas d'água, mesmo em centrais hidroelétricas existentes, são tecnicamente e economicamente viáveis devido a capacidade e agilidade nas atividades de limpeza dos painéis das grades e também pela diminuição dos riscos de acidente devido a diminuição do tempo de trabalhos subaquáticos.

REFERÊNCIAS

- [1] W. C. Young and R. G. Budynas, *Roark's Formulas for Stress and Strain*. New York: McGraw-Hill, 7ª edição.
- [2] Norsok Standard, *Design of Steel Structures* Oslo-Norway, 1998.

DIREITOS AUTORAIS

O autor é o único responsável pelo material incluído neste artigo.



Revista SODEBRAS – Volume 5 – nº 54 – junho / 2010
RECUPERAÇÃO DAS PÁS DE TURBINA DE UM GERADOR EÓLICO
E DETERMINAÇÃO DE SEU RENDIMENTO

ISSN 1809-3957

G. H. R. Geroto e T. M. Souza, *FEG/UNESP*

Resumo — O artigo apresenta uma técnica de construção artesanal de pás de turbinas para geradores eólicos de baixa potência onde o custo e a simplicidade de execução norteou o projeto. Este trabalho foi motivado pelo fato do gerador eólico instalado no Laboratório de Energias Renováveis da UNESP Guaratinguetá ter sofrido danos em suas pás devido a fortes rajadas de vento. Conclusões preliminares são tiradas em função do rendimento esperado do gerador com as novas pás instaladas em comparação com as originais.

Palavras chave: energia eólica, gerador eólico, turbina, pás, artesanal.

NOMENCLATURA

P = potência média do vento [W]
 ρ = densidade do ar seco = 1,225 kg/m³
v = velocidade média do vento [m/s]
 π = 3,14159
r = raio do rotor da turbina [m]
 η = rendimento global da máquina eólica
D = diâmetro da turbina [m]

INTRODUÇÃO

A energia eólica, como fonte geradora de eletricidade, tem se mostrado uma alternativa viável do ponto de vista financeiro para aplicações de pequeno e grande porte em diversos países do mundo. Países como Alemanha, EUA e Espanha já consideram em sua grade energética a geração obtida a partir da força dos ventos.

Esta forma de energia vem sendo utilizada pelo homem desde a antiguidade. A utilização de máquinas eólicas, que captam a energia cinética do vento e a transformam em energia mecânica, tem se mostrado eficaz para diversas aplicações, tais como: moagem de grãos, bombeamento de água e a própria geração de energia elétrica.

TABELA 1

DISTRIBUIÇÃO MUNDIAL DA CAPACIDADE TOTAL INSTALADA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE FONTE EÓLICA NO ANO DE 2007

PAÍS	Alemanha	EUA	Espanha	Índia	China	Dinamarca	Itália
MW	22.24	16.81	15.14	8	6.05	3.12	2.73
%	23.6	17.9	16.1	8.5	6.4	3.3	2.9

FONTE: WIKIPEDIA.ORG, 2009

No Brasil, desde a década de 70, estudos mostram a viabilidade do aproveitamento de energia eólica. Um estudo realizado pelo Centro Técnico Aeroespacial no final da década de 70 já apontava a região Nordeste e a ilha de Fernando de Noronha como os pontos mais promissores do território nacional, devido à forte incidência dos ventos nestas regiões durante todo o ano. [2]

A energia eólica é comumente utilizada no Brasil para bombeamento de água e geração de energia elétrica.

GERADORES EÓLICOS: TIPOS CONSTRUTIVOS

Geradores Eólicos são as máquinas eólicas destinadas à produção de energia elétrica, possuem um gerador acoplado ao eixo de saída da turbina.

Existem dois tipos construtivos comumente utilizados, os de eixo vertical e os de eixo horizontal.

- Eixo Vertical: São de construção mais simples quando comparados aos de eixo horizontal, pois não necessitam de mecanismo direcional, o que torna o sistema de transmissão mais simples e barato. Dependendo do rotor que utilizam são classificados como Rotor Savonius ou Rotor Darrieus. O rendimento da máquina pode variar de 20% a 40% dependendo do tipo de pá utilizada na turbina; pás de arrasto, que são impulsionadas pela força do vento, possuem um rendimento inferior ao das pás conhecidas como pás de sustentação, onde o vento ao passar por seu perfil aerodinâmico produz uma força de sustentação similar àquela encontrada nas asas ou nas pás de hélice de um avião. Esta força tem resultante na direção e sentido do movimento das pás o que aumenta o rendimento do conjunto.

- Eixo Horizontal: Exige mecanismo direcional a fim de alinhar a turbina com a corrente de ar aumentando

assim sua captação e melhorando o rendimento global, principalmente onde se tenha mudança repentina na direção do vento.

Quanto ao tipo de rotor utilizado, são classificados em:

- Rotor Multipás: Geralmente utilizado para bombeamento de água, possui boa relação entre torque e área varrida pelo rotor, seu melhor rendimento se dá com ventos de baixa velocidade. Em geral utilizam pás de arrasto o que lhes garante rendimento de até 30%.

- Rotor de três ou duas pás: É o tipo mais usual para geração de energia elétrica, pois se consegue extrair elevada potência por área de varredura do rotor. Seu melhor rendimento se dá a velocidades mais altas; possui baixos valores de torque de partida. Podem utilizar tanto pás de arrasto como pás de sustentação, aonde seu rendimento chega a 45%.

CARACTERÍSTICAS DA MÁQUINA A SER RECUPERADA

O gerador eólico a ser recuperado no Laboratório de Energias Renováveis da UNESP, campus de Guaratinguetá, é fabricado pela SouthWest Wind Power nos EUA, modelo Air-X, sua configuração é de eixo horizontal, formado por uma turbina de 3 pás com diâmetro de 1,15m de varredura, acopladas a um gerador com potência máxima de saída de 400W.

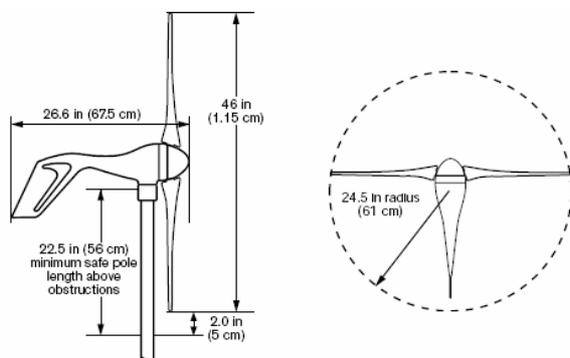


FIGURA 1 – ESQUEMÁTICO DO GERADOR EÓLICO AIR-X
FONTE: WWW.WINDENERGY.COM

O regime de operação da máquina é de 3,6 m/s a 12,5 m/s (400W) de velocidade de vento, fornece uma tensão de 12Vdc.

As pás originais são pás de sustentação, feitas em material composto, o que lhes proporciona leveza e resistência mecânica durante a operação.

O gerador eólico em questão é encontrado no Brasil sendo utilizado para geração de energia em pequenas propriedades com a finalidade de alimentar sistemas de iluminação e outros consumidores. Também é encontrado em pequenas embarcações. O custo de um jogo de pás originais é de aproximadamente R\$800,00 (oitocentos Reais) no mercado brasileiro.

CARACTERÍSTICAS AERODINÂMICAS DAS PÁS DE TURBINA

Existem dois tipos de pás de turbina comumente empregadas em máquinas eólicas: pás de arrasto e pás de sustentação.

Máquinas eólicas destinadas à geração de energia elétrica ou bombeamento de água podem utilizar qualquer um dos dois tipos de pás, mas geralmente devido a necessidades particulares tais como alto torque de partida, os rotores multipás, compostos de pás de arrasto, são preferíveis para bombeamento de água e os rotores com três ou duas pás de sustentação são utilizados para geração de energia elétrica.

Segue uma descrição dos tipos de pás:

- Pás de Sustentação: São construídas utilizando-se um perfil aerodinâmico (aerofólio) conhecido. Quando o ar passa pela superfície deste aerofólio, a velocidade de passagem é maior sobre a superfície mais longa (lado de cima), criando uma área de baixa pressão na parte inferior do aerofólio. A pressão diferencial gerada resulta numa força conhecida em Inglês como *Lift* que significa sustentação aerodinâmica.

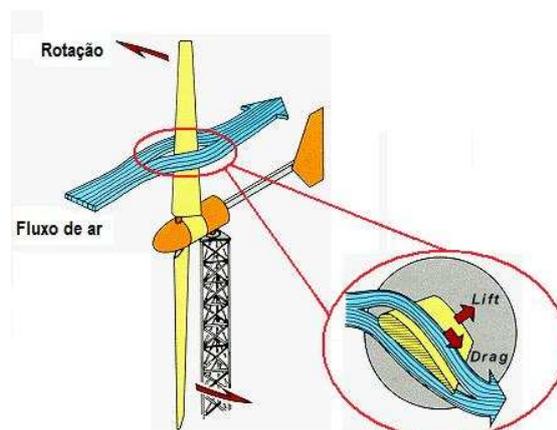


FIGURA 2 – PRINCÍPIO AERODINÂMICO DAS PÁS DE SUSTENTAÇÃO

Na asa de um avião o fenômeno acontece de maneira similar o que gera uma força de baixo para cima fazendo com que haja a decolagem. No caso das pás de turbina, como estão presas a um cubo, as forças de sustentação aerodinâmica causam a rotação deste cubo. Juntamente com a força aerodinâmica de sustentação, devido ao movimento das pás é gerada uma força de arrasto, conhecida em Inglês como *Drag*, que tem sentido perpendicular ao *Lift* e direção contrária ao movimento das pás.

- Pás de Arrasto: São construídas com lâminas de perfil constante e que não geram força de sustentação aerodinâmica quando em movimento. A rotação destas pás se dá exclusivamente através do ângulo de instalação que são montadas no cubo da máquina eólica (ângulo de ataque). O ar quando atinge a turbina produz uma componente tangencial de força de

impulso que gera o movimento de rotação. Quando em rotação uma força de arrasto contrária ao movimento se faz presente.

CONSTRUÇÃO DAS PÁS DE TURBINA

Levando-se em conta o custo e a facilidade de obtenção de matéria prima para a confecção das pás, foi feita uma pesquisa de mercado para determinação do material que apresenta a melhor relação custo/benefício. Considerando materiais metálicos como chapas galvanizadas e materiais plásticos como PVC, chegou-se a conclusão de que o PVC seria mais apropriado para tal finalidade, pois além de mais barato, não sofre corrosão devido à ação atmosférica e é mais fácil de ser trabalhado em oficinas com poucos recursos.



FIGURA 3 – PÁ ORIGINAL FEITA EM MATERIAL COMPOSTO

Buscou-se num segundo momento peças que pudessem ser utilizadas como base na fabricação das pás.

Neste trabalho a confecção se dará a partir de um tubo de PVC de 8 polegadas de diâmetro e as pás construídas serão de arrasto.

O tubo utilizado tem 0,6 metros de comprimento e será seccionado em cinco partes iguais no sentido longitudinal. Cada seção obtida dará origem a duas pás de turbina, ou seja, com uma única seção de tubo é possível construir 10 pás de turbina.

A figura 4 mostra as etapas da construção:

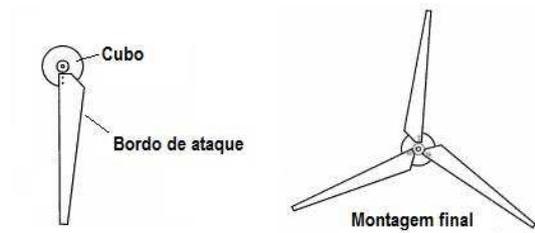
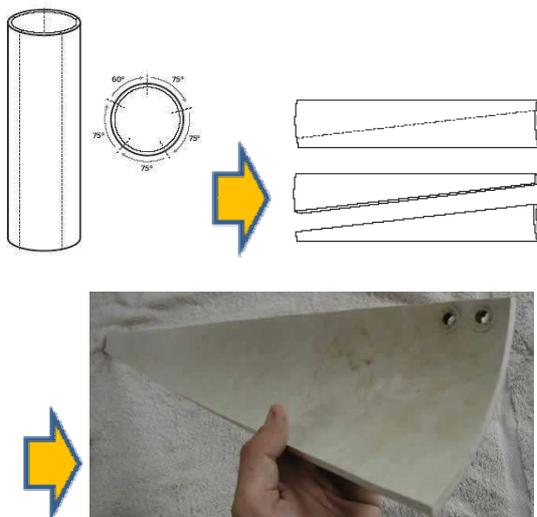


FIGURA 4 – CONFECCÃO DAS PÁS E MONTAGEM

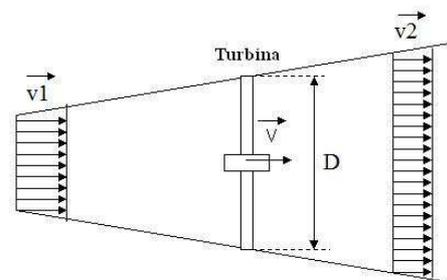
CÁLCULO DA POTÊNCIA DOS GERADORES EÓLICOS

A potência de saída de um gerador eólico é dada em função da velocidade do vento que incide na turbina, da densidade do ar, do diâmetro do rotor e do coeficiente de potência.

$$P = \left(\frac{1}{2}\right) * \rho * v^3 * \pi * r^2 * C_p * \eta \quad (1)$$

O coeficiente de potência C_p define quanta potência pode ser extraída do vento pela turbina. Betz foi o primeiro a demonstrar que o máximo coeficiente de potência teórica alcançada por uma turbina eólica é de 0,593. Em uma turbina real existem outros efeitos que causam redução da máxima potência que pode ser extraída por uma turbina. [1]

O coeficiente de potência pode ser expresso diretamente como uma função da razão de velocidades após e antes da turbina, v_2/v_1 :



$$C_p = \frac{1}{2} \left| 1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right| \left| 1 + \frac{v_2}{v_1} \right| \quad (2)$$

O coeficiente de potência agora depende unicamente da razão das velocidades. Esta relação pode ser expressa graficamente (Figura 5), o máximo coeficiente de potência a certa razão de velocidades. [1]

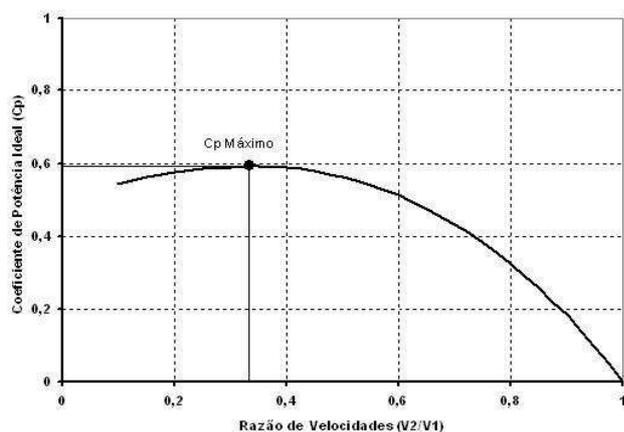


FIGURA 5 – COEFICIENTE DE POTÊNCIA VERSUS RAZÃO DE VELOCIDADES

Com $v_2/v_1 = 1/3$, o coeficiente de potência ideal máximo é dado por: [1]

$$C_p = \frac{16}{27} = 0,593 \quad (3)$$

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE POTÊNCIA E RENDIMENTO DO GERADOR AIR-X ORIGINAL

O termo $(C_p * \eta)$ da equação (1) do gerador com as pás originais foi calculado tomando-se como base o catálogo da máquina, disponível no sítio do fabricante no seguinte endereço eletrônico:

http://www.windenergy.com/documents/spec_sheets/3-CMLT-1339-01_Air_X_Spec.pdf

Considerando:

P = potência máxima do gerador a 12,5 m/s de velocidade do vento;

$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$;

$v = 12,5 \text{ m/s}$ – velocidade máxima do gerador;

$r = 0,575$ (raio da turbina).

De:

$$P = \left(\frac{1}{2}\right) * \rho * v^3 * \pi * r^2 * C_p * \eta \quad (1)$$

Temos:

$$400 = \left(\frac{1}{2}\right) * 1,225 * 12,5^3 * \pi * \left(\frac{1,15}{2}\right)^2 * C_p * \eta$$

Logo:

$$C_p * \eta = 0,322 \quad (\text{gerador com pás originais})$$

DETERMINAÇÃO DO TERMO $(C_p * \eta)$ DO GERADOR EQUIPADO COM AS PÁS DE PVC

Uma vez instaladas as pás feitas a partir do tubo de PVC, será medida a potência versus a velocidade do vento no gerador. Desta maneira será determinado seu rendimento de maneira similar à demonstrada anteriormente no item VIII.

RESULTADOS ESPERADOS

Com a utilização de pás de arrasto em lugar das originais de sustentação o rendimento esperado da máquina eólica será inferior.

Na análise de viabilidade deve ser levado em conta o custo das pás originais que é de aproximadamente R\$800,00 (oitocentos Reais) e o custo e dificuldade de construção das de PVC. Como pode ser observada, a construção artesanal das pás é viável tecnicamente e seu custo gira em torno de R\$100,00 (cem Reais).

Fechando a análise deve-se levar em conta a perda de rendimento, e conseqüentemente de potência, que o gerador terá ao trabalhar com pás não originais.

Dependendo da aplicação, especialmente onde o gerador está superdimensionado, a troca das pás originais danificadas pelas artesanais se mostra viável, mas onde as cargas instaladas estão próximas à potência máxima do gerador não é viável a instalação de pás artesanais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] WENZEL, G. M., Projeto Aerodinâmico de Pás de Turbina de Eixo Horizontal., Porto Alegre (RS), Brazil, nov., 2007.
- [2] Atlas do Potencial Eólico Brasileiro / CEPEL Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, 2001. Metodologia para testes de Turbinas Eólicas - Norma IEC 61400-12.
- GARCIA, S. B.; SIMIONI, G. C. S.; ALÉ, J. A. V. Aspectos de Desenvolvimento de Turbina Eólicas de Eixo Vertical. Conem 2006, PUCRS, ago., 2006.
- FOX, R. W.; McDONALD, A.T. Introdução à Mecânica dos Flúidos. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 5ª ed., 2001.

**Gustavo Henrique**

Rossetti Geroto nasceu em Araras – SP, engenheiro mecânico pela UNESP, Bauru - SP (2000), pós-graduado (*Latu Sensu*) em mecatrônica pela UNESP, Guaratinguetá – SP (2004) é também técnico mecânico-eletricista (1994). Desde o início da carreira, Janeiro de 2001, atua como engenheiro na área aeronáutica (Embraer S.A.), onde tem larga experiência em sistemas mecânicos, tais como Comandos de Vôo, Sistema Hidráulico, Trem de Pouso e Armamentos. Trabalha no diagnóstico de problemas de campo, provendo suporte técnico e manutenção para os operadores de jatos regionais ao redor do mundo. Atualmente cursa matérias isoladas na área de Energia da FEG - UNESP em Guaratinguetá-SP.

