

Alternador veicular modificado para geração de energia elétrica

Bruno Moreira da Silva¹
Vander Fábio Silveira²
Jair Antonio Cruz Siqueira²
Luciene Kazue Tokura²
Bruna de Villa²
Enerdan Fernando Dal Ponte²
Rosemar Cristiane Dal Ponte²
Carlos Eduardo Camargo Nogueira²,
Vanderlei Artur Bier¹
Willian Isáio Tokura³
Hamom Ventura Rodrigues²

Resumo

O objetivo do trabalho foi modificar o rotor de um alternador veicular para a geração de energia elétrica na região de Cascavel/PR, e comparar sua geração com um alternador original. Para isso, foram analisadas as curvas de potência e verificado se a adaptação do alternador seria viável para a geração de energia eólica. O experimento foi realizado no Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) e do Laboratório de Energia (LENE) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) de Cascavel, em bancadas de teste de alternadores. Foram construídos três rotores. O primeiro rotor apresentava 12 ímãs de neodímio N42 de 20x10x2mm em um cilindro de aço; o segundo rotor foi em alumínio fixado com 12 ímãs de neodímio, N52 10x10x10 mm; e o terceiro rotor em Nylon, com um conjunto de ímãs de neodímio, N52 10x10x10 mm, formando 12 polos alternados, sendo cada polo formado por três ímãs, totalizando 36 ímãs. Foi utilizada uma máquina fresadora para controlar a rotação dos alternadores, e por meio da coleta de dados foi possível a construção das curvas de potência. A partir da análise dos resultados, pôde-se concluir que os alternadores original/modificado apresentaram igual capacidade de geração de corrente elétrica (nível de 5% de significância), indicando que a substituição das bobinas do induzido por ímãs de neodímio não alterou significativamente a geração de energia dos alternadores, porém, eliminou-se a necessidade de alimentação do induzido para geração de energia elétrica.

Palavras-chave: Aerogerador alternativo; Fontes renováveis; Energia eólica.

¹ Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Programa de Graduação em Engenharia Agrícola, Cascavel, Paraná

² Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, PPGA, Cascavel, Paraná. E-mail: jair.siqueira@unioeste.br

³ Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Centro de Estudos Superiores de Codó, Codó, MA

Abstract

The objective of the work was to modify the rotor of a vehicle alternator for electric power generation in the Cascavel/PR region, and to compare its generation with an original alternator. For this, the power curves were analyzed and verified if the adaptation of the alternator would be viable for the generation of wind energy. The experiment was carried out in the National Service of Industrial Learning (SENAI) and the Energy Laboratory (LENE) of the State University of the Western Paraná (UNIOESTE) of Cascavel, in test stands of alternators. Three rotors were built. The first rotor had 12 N42 neodymium magnets of 20x10x2mm in a steel cylinder; the second rotor was in aluminum fixed with 12 magnets of neodymium, N52 10x10x10 mm; and the third rotor in Nylon, with a set of neodymium magnets, N52 10x10x10 mm, forming 12 alternating poles, each pole being formed by three magnets, totaling 36 magnets. A milling machine was used to control the rotation of the alternators, and through the collection of data it was possible to construct the power curves. From the analysis of the results, it was possible to conclude that the original / modified alternators presented equal electric current generation capacity (5% level of significance), indicating that the replacement of the induction coils by neodymium magnets did not significantly alter the power generation of alternators, however, the need for powering the induced to generate electricity was eliminated.

Keywords: Alternative wind turbine; Renewable sources; Wind energy.

Introdução

A energia elétrica tem grande significância na vida do ser humano moderno, sendo a principal forma de energia consumida atualmente (FARIA; SELLITTO, 2011). Ela vem se popularizando por ser extremamente flexível, e apresenta várias aplicabilidades, como produção de iluminação, calor, força motora, entre outras.

Com o aumento da valorização da energia elétrica (BONINI, 2011) paralelo ao consumo de energia do setor residencial, que passou de 40 GWh para 450 GWh no período de 1970 a 2010 (SILVA, 2013), produzir a própria energia para reduzir custos torna-se interessante.

As fontes de energia podem ser classificadas em recursos não-renováveis e renováveis. Os recursos não-renováveis são aqueles que se esgotam ao longo da sua utilização, como o carvão, gás natural, petróleo e energia nuclear. Já os

recursos renováveis são aqueles que sempre estão presentes e se renovando, como a energia eólica, solar, energia geotérmica e hidráulica (PACHECO, 2006).

Dentre as fontes de energia, a eólica é uma energia limpa, sua fonte é proveniente das correntes de ar que se formam devido ao aquecimento da superfície terrestre. Entretanto, não é considerada uma fonte de energia uniforme, pois gera zonas de alta e baixa pressão, movimentando as massas de ar (MAIA, 2011).

O estado do Paraná apresenta grande potencial de geração em regiões com maiores altitudes, sendo que o município de Cascavel está entre os maiores potenciais eólicos em microescala, diferente do que ocorre nas regiões litorâneas do Brasil (SATO, 2015).

O Brasil possui o maior programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica do mundo (PROINFA), instituído pela Lei nº 10.438/2002, que contribuiu para a diversificação da matriz energética nacional, privilegiando empreendedores que não tenham vínculos societários com concessionárias de geração, transmissão ou distribuição (ANEEL, 2016).

As turbinas de geração de energia eólica podem ser classificadas quanto ao eixo: vertical e horizontal e quanto a sua potência nominal. A potência nominal pode ser de pequeno porte (até 50 kW), médio porte (50 – 1000 kW) e grande porte (acima de 1 MW) (Wenzel, 2007).

Diante do exposto foi objetivo do trabalho modificar o rotor de um alternador veicular para a geração de energia elétrica na região de Cascavel/PR, e comparar sua geração com um alternador original.

Materiais e Métodos

Para a condução do experimento foram utilizados dois alternadores veiculares usados, de 12 V e 45 A, da fabricante DENSO®. Esse modelo foi escolhido devido à grande disponibilidade no mercado.

Foram construídos três rotores, nas oficinas do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do Paraná (SENAI) e do Laboratório de Energia (LENE)

da Universidade Estadual do oeste do Paraná (UNIOESTE), em bancadas de teste de alternadores, sendo utilizado uma máquina fresadora para regular a rotação dos alternadores e obtenção dos dados para a construção das curvas de potência.

Os alternadores foram abertos utilizando serviços de torneria (Figura 1). O modelo desse alternador possui um detalhe construtivo, que permitiu que sua estrutura fosse travada na parte interna.

Figura 1 - Alternador na fresadora.



Em cada alternador foram fixados 12 ímãs de neodímio N42 de 20x10x2mm em um cilindro de aço. Os ímãs foram fixados de forma a apresentarem uma distância de um milímetro da borda interna das bobinas do alternador. Os ímãs foram dispostos com os polos alternados (positivos e negativos), para que o campo magnético pudesse atravessar as bobinas do alternador, induzindo a corrente elétrica alternada. O cilindro foi usinado, devidamente centralizado e travado em um eixo compatível com o alternador.

Ensaio dos alternadores

Primeiro ensaio

Para a aquisição de dados do primeiro ensaio, o alternador foi conectado diretamente ao eixo de um motor elétrico trifásico de $\frac{1}{2}$ CV, comandado por um Inversor, que possibilitou acelerar gradativamente o motor até uma rotação de 1720 rpm, e medir a corrente elétrica gerada pelo mesmo.

Segundo ensaio

Após o primeiro ensaio, foram adquiridos 12 ímãs de neodímio N52 10x10x10 mm, e uma polia de alumínio para correia em V, com diâmetro de 100 mm para a construção do segundo rotor induzido.

Foi realizada a usinagem da polia, reduzindo seu diâmetro para 96 mm (Figura 2) e aberto um canal para fixar os ímãs, mantendo a distância de um milímetro entre a borda dos ímãs e as bobinas do estator. A polia foi devidamente centralizada em um eixo compatível com o alternador.

Figura 2 - Usinagem da polia em alumínio.



Os ímãs foram igualmente espaçados, com polos alternados (Figura 3) e colados no canal do rotor. Foram utilizados espaçadores de madeira para evitar o agrupamento dos ímãs no interior do canal.

Figura 3 - Rotor de alumínio com ímãs de neodímio fixados.



Com o segundo induzido permanente devidamente montado, foi realizado o segundo ensaio em laboratório, seguindo a mesma metodologia do primeiro ensaio.

Terceiro ensaio

Após a coleta de dados do segundo ensaio, foi construído o terceiro ensaio. Para tanto, foram adquiridos 36 ímãs de neodímio N52 10x10x10 mm, um eixo novo de alternador do mesmo modelo, 130 mm de Nylon cilíndrico com diâmetro de 100 mm para usinagem do suporte dos ímãs, e rolamentos novos para os alternadores.

O Nylon foi uniformizado no torno até alcançar 95mm de diâmetro e 50 mm de comprimento. Foi realizada uma trincheira no sentido radial da peça, centralizado, com aproximadamente 10 mm de profundidade e 30 mm de largura para o posicionamento dos ímãs de neodímio (Figura 4).

Figura 4 - Rotor de Nylon com os conjuntos de ímãs posicionados.



Os ímãs foram fixados na trincheira utilizando cola instantânea, formando 12 polos alternados, cada polo era formado por três ímãs, totalizando 36 ímãs.

Foram utilizadas as placas retificadoras originais dos alternadores, sendo necessário apenas remover do circuito (isolar eletricamente) do controlador de carga e o regulador de tensão, pois a função deste é fazer com que o alternador gere carga apenas quando alcançar uma tensão superior à bateria. Sendo assim, com a placa retificadora isolada, foi possível iniciar a geração de energia em baixas rotações.

Os ensaios foram realizados no SENAI, na unidade de Cascavel/PR, onde os alternadores foram acoplados à uma máquina fresadora, sendo possível controlar a rotação dos alternadores para efetuar a coleta de dados (Figura 5).

Figura 5 - Alternador acoplado à fresadora para a coleta de dados.



Os alternadores foram submetidos a duas coletas de dados. Uma coleta foi realizada com carga resistiva e a outra sem carga resistiva, a carga constitui-se num conjunto de 20 resistências de 20 Watts cada, ligadas em paralelo, totalizando 400 watts de potência, na saída da corrente contínua do alternador. Foram determinadas 20 leituras de tensão e corrente elétrica, de 100 a 2000 rpm. Para a indução do alternador original, foi utilizada uma fonte de computador da HuntKey, modelo HK400-13AP, com uma saída de 12V 14A. As leituras de tensão foram realizadas por meio de um Multímetro Digital Icel Manaus modelo MD-6110, e as leituras de corrente foram realizadas com auxílio de um Alicata Amperímetro da Minipa modelo ET-3990 True RMS.

Os alternadores foram acoplados às pás verticais e submetidos aos testes laboratoriais. Foi utilizado um ventilador axial de aeração como fonte de vento (Figura 6). As leituras de velocidade de vento foram determinadas por meio de um anemômetro de fio quente, da Instrutherm, modelo TAFR-180.

Figura 6 - Aerogerador em funcionamento com ventilador axial



Foi realizada a análise estatística exploratória dos dados, teste Hartley e ANOVA com o auxílio do software R, para comparar as médias e variâncias dos testes, e verificar se havia diferença significativa à 5% de significância entre os alternadores.

Resultados e Discussão

Primeiro ensaio

No ensaio do primeiro induzido permanente, logo nos primeiros minutos, os ímãs soltaram-se do rotor maciço. Foi necessário interromper o teste pelo colapso do sistema (quebra dos ímãs) (Figura 7). Anteriormente a interrupção do teste foi possível medir aproximadamente 8 V à 1720 rpm, com os ímãs de 20 mm de largura.

Figura 7 - Detalhe dos ímãs de neodímio danificados pelo sistema de fixação.



Segundo ensaio

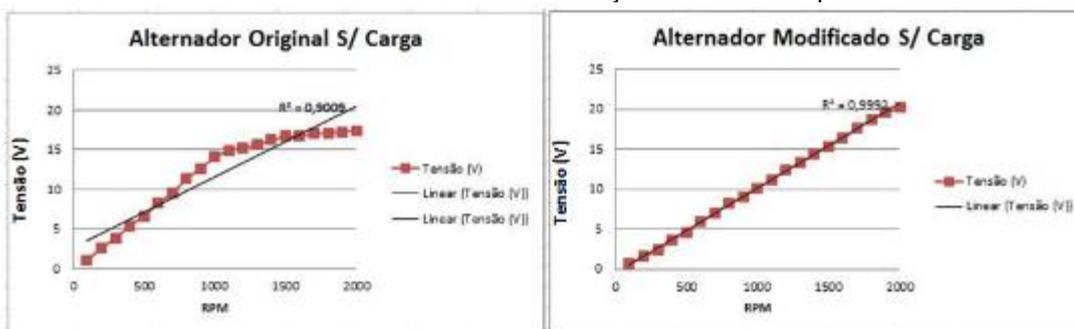
No segundo ensaio, com o rotor em alumínio, e os ímãs de 10 mm de largura, a 1720 rpm, alcançou-se a tensão de aproximadamente 4 V (Figura 8).

Figura 8 - Tensão alcançada no segundo ensaio.



Com os alternadores sem carga, acoplados à fresadora, variou-se a rotação de 100 em 100 rpm, até 2000 rpm. A leitura da tensão gerada foi realizada em corrente contínua, após passar pela placa retificadora (Figura 9).

Figura 9 - Curva de tensão dos alternadores sem carga, variando-se a rotação de 0 a 2000 rpm

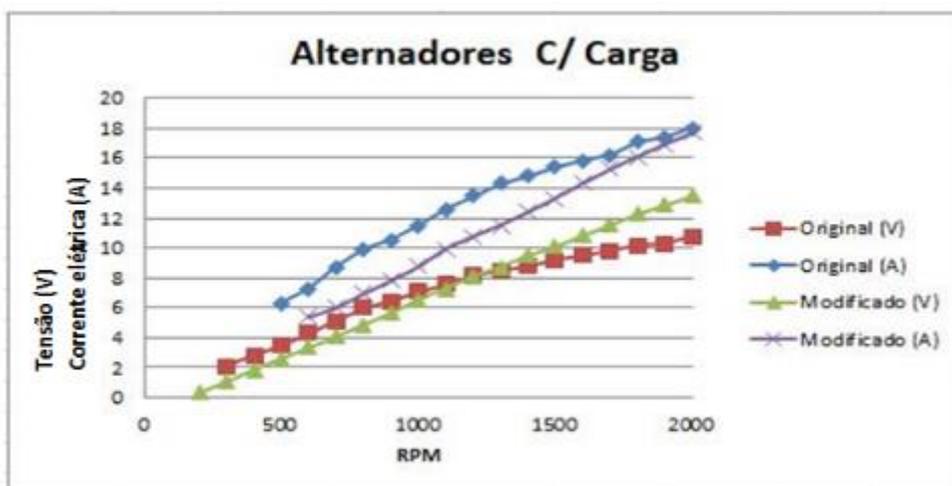


A curva de tensão do alternador original apresentou um crescimento rápido até atingir cerca de 1000 rpm, constatado pelo maior grau de inclinação da reta Tensão x RPM. Após esta rotação a tensão tende a se manter entre 15 e 17 V. Por outro lado com o alternador modificado, com induzido permanente de ímãs de neodímio, o crescimento foi contínuo e atingiu 20 V à 2000 rpm.

Os alternadores atingiram a mesma tensão em torno de 1650 rpm, evidenciando que acima desta rotação o alternador modificado gera maior tensão elétrica. Entretanto, em baixas rotações o alternador original apresentou maior vantagem.

A curva de tensão e corrente elétrica dos alternadores com carga de 400 watts são apresentadas na Figura 10.

Figura 10 - Curvas de tensão e corrente elétrica dos alternadores com carga de 400 W.



Na Figura 10 pode ser observado o desempenho dos dois alternadores em diferentes rotações. Apesar da linearidade do alternador modificado, o alternador original apresentou uma corrente maior durante todo o teste, enquanto a variação da tensão não foi significativa.

As curvas de potência dos alternadores são observadas na Figura 11.

Figura 11 - Curvas de potência dos alternadores.



Quando as curvas de potência dos alternadores ficaram abaixo de 1600 rpm, o alternador original apresentou maior eficiência do que o alternador modificado com ímãs de neodímio, porém, acima disso, o alternador modificado apresentou um maior rendimento.

Utilizando o alternador modificado, o aerogerador apresentou maior dificuldade para romper a inércia, uma vez que, o alternador é permanentemente induzido pelos ímãs, necessitando de um torque maior para romper a inércia. Foi necessária uma corrente de ar com velocidade de 80 km/h para que o alternador modificado rompesse a inércia e gerasse uma tensão baixa, de aproximadamente 2,3 V, o equivalente à 200 rpm segundo a curva de potência obtida em testes de bancada.

Já o alternador original não apresentou resistência para iniciar a rotação, com uma velocidade de aproximadamente 80 km/h, gerou apenas 0,1 V. Contudo, segundo sua curva de potência, deveria gerar aproximadamente 4 V.

Essa diferença pode ter ocorrido por conta do controlador de carga do alternador, que, pelo fato de ser integrado à placa retificadora, pode ter limitado a geração de energia.

Os custos para a construção do alternador alternativo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Custos das peças para montagem do alternador alternativo.

Peça	Custo (R\$)
Alternador veicular denso	50,00
Eixo novo do alternador	15,00
2 Rolamentos novos para o alternador	12,00
Eixo de Nylon 100 mm	38,00
30 ímãs de neodímio 10x10x10 mm	180,00
Serviços de montagem	-
TOTAL	295,00

A análise estatística exploratória, são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Estatística exploratória dos testes.

	Sem Carga		400Watts		400Watts		400Watts	
	Orig.	Modif.	Orig.	Modif.	Orig.	Modif.	Orig.	Modif.
	-----Tensão-----				---Corrente---		----Potência----	
	(V)	(V)	(V)	(V)	(A)	(A)	(W)	(W)
Média	11,95	10,63	6,51	6,76	10,47	8,66	88,14	83,84
Variância	30,36	39,16	11,64	19,08	39,57	38,25	4424	6338
Desv. Pad.	5,51	6,26	3,41	4,37	6,29	6,18	66,51	79,51
Coef. Var.	46,11	58,89	52,38	64,64	60,07	71,36	75,45	94,95

Orig.: original; Modif.: modificado; Desv. Pad.: Desvio padrão; Coef. Var.: Coeficiente de variação.

A análise de variância pelo Teste Hartley e ANOVA são apresentados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3 - Teste de Hartley.

	Sem Carga	400Watts	400Watts	400Watts
	Tensão (V)	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)
Hcalc	1,29	1,64	1,03	1,43
Htab (2,20)			2,46	

Tabela 4 – Valores de F da ANOVA.

	Sem Carga	400Watts	400Watts	400Watts
	Tensão (V)	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)
F	0,500	0,039	0,840	0,034
F _{crítico}			4,100	

Todos os resultados do teste Hartley apresentaram variâncias iguais à 5% de significância ($H_{calc} < H_{tab}$) (Tabela 3). Bem como, a ANOVA, com médias iguais ($F < F_{crítico}$) à 5% de significância (Tabela 4).

Levando em consideração que o alternador foi instalado em uma turbina eólica vertical, pelo fato desta ser mais indicada para a região de relevo acidentado de Cascavel (BATISTA, 2013) e apresentar maior rendimento com ventos de velocidade baixa, de 5 à 7 m/s, de direção não constante (SATO, 2015), o alternador vertical modificado alternativo, não apresentou diferenças significativas, em função das modificações. Além disso apresentou-se menos eficiente em baixas rotações (Figura 8). O que, se aproxima mais do comportamento em campo, uma vez que, Batista (2013) afirma que a rotação média de um aerogerador vertical é em torno de 600 rpm.

Conclusão

A partir dos resultados encontrados pode-se concluir que o alternador veicular modificado com ímãs de neodímio não apresentou diferenças na geração de energia elétrica quando comparado com o alternador original, ao nível de 5% de significância.

Referências

ANEEL - Agência Nacional De Energia Elétrica. **Informações Técnicas**. 2016. <http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/>. Acesso em: 18 de abril de 2016.

BATISTA, N.A.M.C. **Novo aerogerador de eixo vertical integrado numa rede inteligente em contexto urbano**. 2013. Tese de Doutorado, Departamento de Física (DF), Universidade de Évora.

BONINI, M.R. Tarifas de energia elétrica: Evolução nos últimos anos e perspectivas. **Boletim de Economia**, v. 8: 19-36, 2011.

FARIAS, L.M.; SELLITTO, M.A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. *Liberato*, v. 12: 01-106, 2011.

MAIA, T.A.C. **Projeto e construção de um gerador a ímãs permanentes de fluxo axial para turbina eólica de pequena potência**. (2011). Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE), Universidade Federal de Minas Gerais.

PACHECO, F. **Energias Renováveis: breves conceitos**. 2006. http://ieham.org/html/docs/Conceitos_Energias_renov%C3%A1veis.pdf. Acesso em 20 de abril de 2016.

SATO, M. **Avaliação do potencial eólico em microescala de Cascavel e região**. 2015. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura (PPGEEA), Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

SILVA, N.R. **Demanda de energia elétrica residencial no Brasil segundo os quantis de consumo**. 2013. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Economia Aplicada (PPGEA), Universidade Federal de Viçosa.

WENZEL, G.M. **Projeto aerodinâmico de pás de turbinas eólicas de eixo horizontal**. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.