

# PROJETO DE UM AEROGERADOR DE BAIXO CUSTO UTILIZANDO MATERIAIS METÁLICOS E POLÍMEROS <sup>1</sup>

*Daniela Gomes Rodrigues* <sup>2</sup>  
*Lucas Almeida Andrade* <sup>3</sup>  
*Márcio José de Castro Justino* <sup>4</sup>  
*Paulo de Oliveira Silva* <sup>3</sup>

## **Resumo**

O objetivo deste trabalho é projetar um aerogerador de energia eólica. Utilizando nas pás um esqueleto de aço ABNT 1020 com revestimento interno de espuma de poliuretano (associação de isocianato+poliol) e externamente revestido por fibra de vidro c . Aplicar em um projeto para converter energia cinética do vento em energia elétrica. Foi realizada uma ampla pesquisa dos materiais a serem utilizados a fim de combinar resistência, peso e custo. Todo detalhamento mecânico foi feito no software Solid Edge v12. Os cálculos aerodinâmicos foram feitos com o auxílio do software Blade Calculator. Foi fabricado e montado em um local, a fim de verificar-se a sua funcionalidade e desempenho.

**Palavras-chave:** Eólica; Aerogerador; Compósito; Dignidade.

## **LOW COST PROJECT OF A AEROGENERATOR USING METAL MATERIALS AND POLIMEROS**

## **Abstract**

The objective of this work is project one aerogenerator of eolic energy. Using in the blades an structure of steel ABNT 1020 with intern coating of polyurethane spume (association of isocianato+poliol) and externally coat by fiberglass class C. Apply in an project for convert kinetic energy of the wind in electric energy. Was realized a ample search of materials for be used for combine resistance, mass and cost. All mechanic detail was make in the Solid Edge v12 software. The aerodynamics calculus was make with help of the Blade Calculator software. Was fabricate and assembled in a local, for verify the your functionality and performance.

**Key words:** Eolic; Aerogenerator; Composit; Dignity.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

<sup>2</sup> *Graduando - nível superior em engenharia de materiais UNILESTEMG*

<sup>3</sup> *Graduando - nível superior em engenharia mecânica UNILESTEMG*

<sup>4</sup> *Mestrado em engenharia elétrica pela UFMG*

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Objetivos

A energia produzida pelo vento é um recurso energético natural que pode ser aproveitado com um investimento reduzido, é especialmente rentável em locais com muito vento. Um gerador eólico de pequeno porte é algo possível de fazer sem custos muito elevados. O aproveitamento da energia cinética do vento é efetuado através de turbinas eólicas acopladas a geradores. O objetivo deste trabalho é realizar o projeto mecânico de uma turbina de geração de energia a partir do vento, usando nas pás um compósito formado pela associação de aço ABNT 1020, espuma rígida, e revestimento externo de fibra de vidro.

## 1.2 Revisão Bibliográfica

### 1.2.1 Fibra de vidro

Segundo Hull,<sup>(1)</sup> muitas composições de minerais têm sido utilizadas para produzir fibras. As fibras de vidro são produzidas a partir da sílica (SiO<sub>2</sub>), através da adição de óxido de cálcio, boro, sódio e alumínio. Estas fibras são materiais amorfos e sua cristalização ocorre após prolongado tratamento com altas temperaturas. Dentre as vantagens do uso de fibra de vidro em reforços de estruturas podem ser destacadas: baixo custo, em relação às fibras de carbono e as fibras aramid, (aproximadamente R\$ 5,00/m<sup>2</sup>), alta resistência ao impacto e à corrosão. Além disso, pode ser destacado como um produto que também é fabricado no Brasil. As fibras de vidro se dividem em três categorias: E (*electrical*), C (*chemical*) e S (*high tensile strength*). Suas principais características e formas encontradas no mercado estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

**Tabela 1.** Características da fibra de vidro (1995).<sup>(1)</sup>

Fibra de Vidro	Características
E glass	Boa RESISTIVIDADE elétrica, sendo utilizada para fazer isolamento de materiais.
C glass	Alta resistência a corrosão; Baixa propriedade de resistência.
S glass	Alto módulo de elasticidade; Resistente a altas temperaturas;

### 1.2.2 Comparação entre propriedades das fibras

Segundo Beber,<sup>(2)</sup> é a fibra de carbono, combinada com uma matriz polimérica (CFRP *Carbon Fiber Reinforced Polymer*), que apresenta as melhores características para desempenhar função de recuperação e reforço de estruturas, devido aos altos valores de sua resistência e módulo de elasticidade. A Tabela 2 apresenta valores de propriedades das fibras de vidro, das fibras de carbono e do kevlar.

**Tabela 2.** Características dos tecidos de fibras a 20° C (2000).<sup>(3)</sup>

Fibras	Características		
	Resistência a Tração (Mpa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Densidade ( $g/cm^3$ )
Unidirecional vidro (E)	900	76	2,55
Orgânica (Kevlar)	1500	125	1,44
Unidirecional carbono	2200	160-300	1,75
Lâmina carbono	2400	165-300	1,90

### 1.2.3 Espuma de poliuretano

É um polímero normalmente formulado da associação de dois componentes. Um dos componentes é o isocianato (normalmente MDI polimérico), o outro é constituído de um ou mais polióis e demais aditivos, como: surfactantes; retardantes de chama; catalisadores; e reticuladores de cadeia, como glicerina ou trietanolamina.

### 1.2.4 Propriedades mecânicas da espuma rígida

As propriedades mecânicas das espumas rígidas são dependentes da densidade, estrutura celular e do processo de fabricação. O esqueleto polimérico deve ser forte o suficiente para resistir às tensões. A aplicação de esforços externos deforma a estrutura celular, podendo conduzir ao colapso das células. A resistência mecânica das espumas rígidas é avaliada quanto à compressão, tensão, rasgo e flexibilidade.

**Tabela 3.** Resistência mecânica de espuma PUR/PIR.<sup>(4)</sup>

PROPRIEDADES	VALORES TÍPICOS	
	Máximo	a 10% de deformação
Resistência à compressão (kPa)		
Paralela à direção do crescimento da espuma	200	140 a 180
Perpendicular à direção do crescimento da espuma	120	130 a 180
Paralela à direção do crescimento	350	
Perpendicular à direção do crescimento	250	
Resistência ao cisalhamento (kPa)	160	
Módulo de flexibilidade (MPa)	3	

A resistência à compressão das espumas rígidas é importante na maioria das aplicações. Uma amostra uniforme de dimensões padrões é comprimida a uma taxa de 10% e a tensão máxima suportada é determinada. Se o máximo da tensão de compressão é atingido antes de 10% de deformação, este será o valor considerado. Normalmente se utiliza o valor a 10% de deformação porque, a experiência mostra que, este valor é bem próximo do valor máximo de resistência à compressão. A Tabela 03 mostra valores típicos para uma espuma rígida de poliuretano (PUR)/polisocianurato (PIR) com 32 kg/m<sup>3</sup> de densidade. A Figura 1 mostra duas curvas típicas de tensão/deformação. A curva (a) representa uma espuma que colapsa num valor máximo de tensão de compressão ( $\sigma_{dB}$ ). Na curva (b) a espuma não apresenta um ponto máximo definido e a força de compressão é medida a 10% de deformação ( $\sigma_{d10}$ ). Ao contrário do que ocorre na resistência à compressão no teste de resistência à tração existe uma separação das forças coesivas. Todavia é impossível determinar, com reprodutibilidade, estas forças coesivas, visto que cada corte, na estrutura celular do corpo de prova, representa um possível ponto de ruptura, resultando num grande espalhamento de resultados. Em baixos níveis de tensão, nas temperaturas usuais de operação as espumas rígidas de poliuretano (PUR) e polisocianurato (PIR) exibem valores bastante baixos de *creep* (velocidade de variação da deformação com o tempo sob carga constante). É comum projetar o valor de suporte de carga de uma espuma rígida com um fator de segurança de 4 a 5 vezes o obtido na determinação da resistência à compressão.

a) A espuma rompe a uma tensão definida ( $\sigma_{dB}$ )

b) Não há ponto nítido de quebra, usa-se o valor da força de compressão na deformação de 10% ( $\sigma_{d10}$ ).

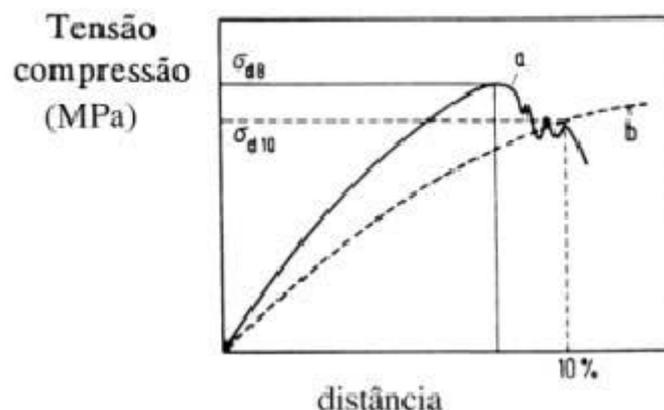


Figura 1. Resistência à compressão. <sup>(1)</sup>

Para um sólido elástico perfeito, a curva tensão/deformação é linear e inalterada pela taxa de deformação (Lei de Hooke), e a constante de proporcionalidade é chamada de módulo de Young ( $e$ ). Os PU's, como todos os materiais poliméricos, somente se comportam segundo a Lei de Hooke, em níveis baixos de carga, onde o material readquire rapidamente a forma inicial, quando a carga é removida. Nos testes de resistência à compressão, tração, rasgo e flexão, para o cálculo dos respectivos módulos de compressão, tração, rasgo e flexão, o módulo elástico das espumas rígidas é obtido na parte inicial quase linear, das curvas de tensão/deformação. O módulo de flexão, ou rigidez, das espumas com estrutura sanduíche com pele, que é mais resistente à tração que o coração da espuma, é proporcional à terceira potência da espessura do composto. Quando uma lâmina rígida suporta uma carga de flexão, uma face da lâmina está sob compressão e a outra sob tração; entre as duas faces existe um plano neutro, onde a tração devido à

flexão é teoricamente zero. Na prática, há sempre um componente de força de rasgo e o coração da espuma de baixa densidade é submetido à tensão de rasgo. Nas aplicações das espumas com estrutura sanduíche com pele com alta tensão de ruptura, onde a propriedade de alto suporte de carga é requerida, a densidade mínima.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Na produção da pá constituinte da turbina, segundo Warlock,<sup>(5)</sup> fez-se a construção de um material compósito. Utilizou-se três materiais, fibra de vidro classe c, aço ABNT 1020, espuma rígida de poliuretano. De acordo com o projeto mecânico da pá montou-se em um tubo de aço sucessivos perfis aerodinâmicos feitos de chapa de aço, colocou-se em um molde já previamente preparado de forma que possa formar a superfície externa da pá. Logo após, através de furos no suporte foi inserido a associação de Polioli+Isocianato de forma que houvesse a junção da espuma rígida com o esqueleto de aço. Após secar, aplica-se a fibra de vidro na superfície externa da espuma.

## **3 RESULTADOS**

Após realizada a construção das pás fez-se a montagem (Segundo anexo A) em um eixo sem nenhuma carga, e fez-se testes com ela em uma cidade do interior, Resplendor - MG, obteve-se com a combinação dos materiais excelente resistência mecânica e um baixo peso. No dia dos testes, a velocidade do vento era de aproximadamente 4 m/s, obteve-se então a rotação de 122,7 RPM. Após concluída a construção das pás obteve-se um custo final de aproximadamente R\$78,89.

## **4 DISCUSSÃO**

Após serem feitos os testes, pode-se perceber que a combinação dos três materiais usados no compósito propiciou uma performance do equipamento tão boa quanto as pás feitas de madeira e de outros materiais como aço. O que se pode destacar no uso desse processo é a questão do custo envolvido que é extremamente baixo em relação aos materiais normalmente utilizados, essa característica vem a ser de grande importância no sentido de que com custo baixo elas poderiam ser aplicadas em comunidades carentes isoladas, propiciando um mínimo de dignidade a muitas famílias.

## **5 CONCLUSÃO**

Foram obtidos os resultados objetivados, as pás feitas a partir do compósito de Fibra de vidro, aço e espuma de poliuretano, têm um baixíssimo peso, um custo relativamente baixo, e uma excelente performance. Pode-se concluir que devido ao seu custo baixo, é viável sua produção e instalação em locais remotos para a geração de energia à famílias carentes.

## **Agradecimentos**

Agradeço a Paulo de Oliveira, amigo que orientou na parte de detalhamento mecânico, a Márcio José de Castro Justino pelo apoio como orientador, ao professor

Fabrcio de Moura Dias pelo auxilio ao trabalho, a UNILESTEMG pelo incentivo à pesquisa, e a todos outros que me auxiliaram nesse projeto.

## REFERÊNCIAS

- 1 HULL, D., An introduction to composite materials. Cambridge University (1995). 246p.
- 2 BEBER, A.J., CAMPAGNOLO, J.L Flexural Strengthening of R/C Beams with CFRP Sheets. In: international conference on structural fairs and reapi, 1999, LONDON, ECS Publications (CD-ROM).
- 3 BARRACUDA (2000). Tecidos Prepregs. Disponível em [Http://www.barracudatec.com.br](http://www.barracudatec.com.br). ACESSO EM 15/12/07
- 4 ESPUMA DE POLIURETANO. DISPONÍVEL EM <http://www.poliuretanos.com.br/Cap5/51mp.htm>. ACESSO EM 23/01/2008
- 5 WARLOCK (2003). 10 kws blades. Disponível em <http://www.warlock.au/10kws.pdf>. Acesso em 14/10/2007

## ANEXO A



Ilustração do projeto montado A.1



Ilustração do projeto montado A.2