

# SISTEMA DE MULTIPLICAÇÃO DE VELOCIDADES PARA MOTORES EÓLICOS E RODA D'ÁGUA

**Teófilo Miguel de Souza**

Centro de Energias Renováveis - UNESP - Guaratinguetá  
Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333 - Bloco IV - Bairro Pedregulho  
CEP 12516-410 - Guaratinguetá - SP  
E-mail: teofilo@feg.unesp.br

**Marco Aurélio Ferla de Oliveira**

Centro de Energias Renováveis - UNESP - Guaratinguetá  
R. Padre Roma, nº 8 - Nova Guará  
CEP 12515-540 - Guaratinguetá - SP  
E-mail: maferla@ig.com.br

**Resumo.** Este trabalho apresenta o projeto e desenvolvimento de um sistema de multiplicação de velocidades voltado para motores aplicáveis a cata-vento e rodas d'água. Consiste no aumento da rotação fornecida por estes tipos de motores. A baixa rotação, através de transferência de torque, é transformada em rotação suficiente para acionar um gerador com rotor de ímãs permanentes para fornecimento de energia elétrica. Utilizando um sistema de acoplamento adaptável para motor eólico ou roda d'água, a rotação é transferida para uma coroa que está ligada por meio de corrente a um pinhão (relação coroa/pinhão = 4:1). O pinhão, por sua vez, está acoplado em uma extremidade de um eixo que tem, na outra extremidade, uma coroa do mesmo tamanho que a primeira citada. Esta coroa é ligada por meio de outra corrente a um segundo pinhão que está fixo no eixo do gerador. Todo sistema gira com auxílio de eixos e rolamentos presos a mancais que estão fixos em uma base. A transmissão de rotação com polias e correias produz maiores esforços em todo o sistema, pois tem o objetivo de minimizar o deslizamento entre os componentes que, geralmente, são de grandes dimensões. O sistema desenvolvido com coroas, correntes e pinhões teve suas dimensões reduzidas e mostrou-se mais eficiente que os normalmente utilizados com polias e correias.

**Palavras-chave:** multiplicador de velocidades; energia alternativa; roda d'água; cata-ventos.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, todas as pessoas necessitam de energia elétrica. Desde aquelas que moram nos mais modernos e luxuosos prédios das grandes capitais, até as mais humildes, que se encontram nas zonas rurais.

Para quem mora na cidade é mais fácil conseguir energia, já que a mesma, chega até as casas por meio das grandes linhas de transmissão provenientes das usinas hidrelétricas. Porém, para quem mora no campo, não é tão fácil assim, sabendo que o desenvolvimento do país não conseguiu alcançar todas as áreas necessitadas, a fim de melhorar a vida.

Entretanto, de algumas maneiras é possível produzir a energia elétrica necessária nestas regiões, como, por exemplo, usando geradores movidos por um determinado tipo de motor propulsor que produz alta rotação. Geralmente, tem alto custo, implantação e manutenção especializada. Também é possível utilizar motores eólicos, como cata-ventos, ou rodas d'água. Neste caso, só há um

inconveniente: a baixa rotação produzida por estes tipos de propulsores. Surge então a necessidade de se desenvolver um sistema que aumente esta rotação e suporte a alta rotação do gerador.

Existem vários tipos de sistemas de multiplicação de velocidades, os quais são mais conhecidos, em máquinas, como sistemas de transmissão. Estes sistemas funcionam de modo a transmitir o torque gerado por motores a eixos, câmbios de veículos e sistemas de alimentação, entre outros. Tudo depende da necessidade para a qual o sistema está sendo desenvolvido, seja para transmitir força ou velocidade. Todo sistema existente possui prós e contras que pesam muito na escolha de qual seria o melhor tipo a ser usado para o fim desejado. A seguir encontram-se descritos alguns tipos mais comuns.

## 2. TIPOS DE TRANSMISSÃO EM MÁQUINAS

### 2.1. Transmissão por correias

Em transmissão por correias, podem ser aplicadas correias planas ou correias em perfil “V”.

As correias planas são utilizadas em árvores paralelas ou reversas, suportando uma potência máxima de 1600 kW a uma rotação de 18000 rpm. Dessa forma, a relação de transmissão máxima, que será determinada pela dimensão das polias, é 1:10, porém a relação ideal é até 1:5.

As correias em “V” são utilizadas somente em árvores paralelas, suportando potência máxima de 1100 kW. Neste caso, a relação de transmissão máxima é 1:15, e a relação ideal até 1:8.

Para melhor funcionamento do conjunto, as correias devem estar bem esticadas. Para que esta condição possa ser atendida, usa-se uma polia esticadora, como mostrada na Fig. (1).

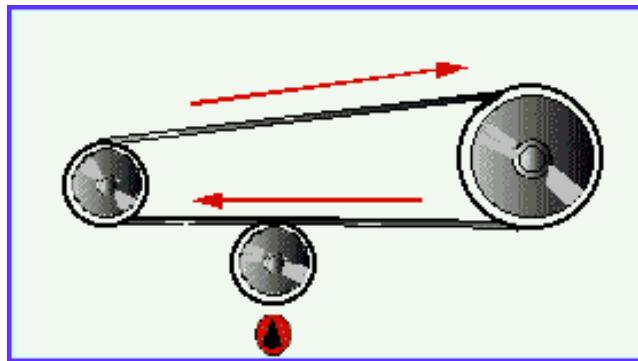


Figura 1. Exemplo de transmissão usando polias e correias.

As correias, inevitavelmente, sofrem esforços durante todo o tempo em que estiverem operando, pois estão sujeitas às forças de atrito e de tração. As forças de atrito geram calor e desgaste dos componentes, e as forças de tração produzem alongamentos que vão lasseando-as. Além desse dois fatores, as correias estão sujeitas às condições do meio ambiente como umidade, poeira, resíduos, substâncias químicas, que podem gerar rachaduras. As rachaduras reduzem a tensão das correias e, consequentemente, a sua eficiência. Outro dano comum é a sua fragilização causada principalmente pelo excesso de calor. O resultado dessa fragilização é um aspecto pastoso e pegajoso apresentado pela mesma (Melconian, 1949).

O sistema produzido com estes elementos tem custo acessível, porém há necessidade de manutenção constante devido ao desgaste das correias e rolamentos.

### 2.2. Engrenagens

São utilizadas em eixos paralelos ou reversos.

A relação de transmissão é constante, segura e não apresenta deslizamento.

Possuem vida longa em relação a outros tipos de transmissão e resistem bem às sobrecargas.

Também apresentam índice de ruído maior em relação a outras transmissões, além da necessidade de constante lubrificação para melhor rendimento do sistema.

Atualmente a norma DIN especifica 12 (doze) qualidades de engrenagens, que variam de acordo com a tolerância. Estas qualidades vão desde engrenagens utilizadas em indústrias de precisão (relojoaria e aparelhos de medições) até engrenagens mais rústicas, normalmente utilizadas em máquinas agrícolas.

As mais usadas são engrenagens de dentes retos e helicoidais, e as cônicas com dentes retos (Melconian, 1949).

Alguns exemplos são mostrados na Fig. (2).

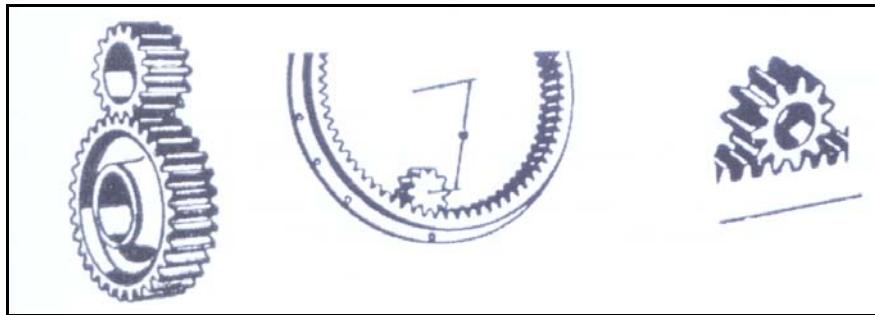


Figura 2. Modelos de engrenagens.

### 2.3. Correntes

As partes fundamentais de um sistema que usa correntes são: eixos fixos em rolamentos apoiados em mancais, coroas e pinhões de diversos tamanhos, e a própria corrente, que transmite todo o torque e velocidade.

As transmissões por meio de correntes são aplicadas em locais em que engrenagens e correias não trazem resultados satisfatórios, ou não sejam possíveis, ou ainda quando houver, por exemplo, a necessidade de acionamento de vários eixos por um único eixo motor.

As correntes sofrem menos desgaste que as correias e engrenagens, assim como todos os seus respectivos componentes. Elas também exercem menor força nos eixos e rolamentos, que por sua vez passam a ter maior vida útil do que quando aplicados em sistemas de correias. Isso ocorre porque não é preciso esticá-las como acontece com as correias.

### 2.4. Outros tipos

Além das transmissões mais comuns utilizando correias, engrenagens e correntes, existem outras maneiras de transmitir torque ou velocidade que também podem ser aplicadas em máquinas.

Podem ser citados sistemas que usam coroa e parafuso sem fim, molas, rolamentos, eixos e eixos-árvore, cabos de aço, junções eixo-árvore com cubo, chavetas, mancais de deslizamento e acoplamentos elásticos.

## 3. SISTEMA DE MULTIPLICAÇÃO DE VELOCIDADES PARA MOTORES EÓLICOS E RODA D'ÁGUA

O sistema proposto neste trabalho visa transformar a baixa rotação fornecida por motores eólicos e rodas d'água em rotação suficiente para movimentar um gerador com rotor de ímãs permanentes, numa determinada freqüência, capaz de produzir energia elétrica. O desenvolvimento da transmissão utilizando correntes estabeleceu alto desempenho associado ao baixo custo de implementação.

Geralmente, uma roda d'água e um cata-vento têm velocidades típicas variando de 30 a 50 rpm. Para obter a rotação necessária ao bom funcionamento do gerador com rotor de ímãs permanentes, é

necessária uma velocidade acima de 300 rpm. Assim, a velocidade é conseguida através de um multiplicador de velocidades construído de tal modo a obter uma relação de multiplicação final acima de 10:1.

Para obter a rotação ideal do gerador, a relação de multiplicação foi de 16:1 e de 64:1. Uma queda d'água faz com que a respectiva roda gire com velocidade aproximadamente constante. Como os ventos não são periódicos e não apresentam velocidade constante, pode-se observar um rendimento maior ao aplicar uma relação mais leve. Na relação de 16:1, as velocidades podem atingir entre 480 rpm e 800 rpm. Na relação 64:1, as velocidades do gerador podem ser entre 1920 rpm a 3200 rpm.

No mercado brasileiro, hoje em dia, existem vários tipos de geradores, que são classificados quanto à complexidade de construção e rotação máxima. Um gerador de dois pólos é de fácil construção e funciona a uma rotação de 3600 rpm. Enquanto que, um modelo mais complexo de dez pólos funciona a uma rotação de 720 rpm.

As coroas, pinhões, correntes e um dos eixos são peças utilizadas na transmissão de motocicleta, sendo, portanto materiais de fácil acesso e baixo custo. Os mancais, flanges e a base são peças mais difíceis de se encontrar nas dimensões apropriadas e quando encontradas têm custo muito alto. Portanto se faz necessário produzi-las através de usinagem e outros processos de fabricação.

No sistema de transmissão por correntes, o custo de material é R\$ 128,00, para o multiplicador com relação 16:1, e R\$ 380,00 para a relação 64:1. Ao passo que, o custo de material de multiplicação por correias fica em torno de R\$ 414,00, incluindo a polia, duas correias, dois mancais e um eixo. Para ter as relações mencionadas, 16:1 e 64:1, o sistema montado com correias não fica compacto.

### 3.1. Como funciona

O sistema de multiplicação de velocidades funciona de modo a produzir rotação suficiente para movimentar o gerador de energia. A Figura (3) mostra o multiplicador sustentado por uma armação de ferro e apoiado sobre trilhos, também de ferro. A função dos trilhos é esticar as correntes entre as coroas e pinhões do gerador e do eixo principal.



Figura 3. Apresentação do conjunto montado em um cata-vento.

A partir de um flange de acoplamento, que serve tanto para o cata-vento quanto para a roda d'água, é possível obter a rotação inicial. A coroa primária está fixada neste flange acoplado ao eixo do motor eólico, como mostra a Fig. (4). Portanto, a rotação da coroa primária é a mesma rotação inicial.



Figura 4. Coroa primária.

A coroa primária está ligada, através de uma corrente, ao pinhão primário localizado na parte superior do sistema, de acordo com a vista frontal mostrada na Fig. (5). A relação de multiplicação de velocidades da coroa para o pinhão é 1:4, sendo que a coroa possui 56 dentes e o pinhão 14 dentes.

O pinhão primário se encontra na extremidade de um eixo sustentado por um mancal com dois rolamentos. O mancal é apoiado em uma base feita com cantoneiras na forma de um triângulo isósceles, mostrado na vista traseira da Fig. (5). No mesmo eixo encontra-se a coroa secundária, que por sua vez, está ligada por meio de outra corrente ao pinhão secundário fixo no eixo do gerador.



Figura 5. Vistas frontal e traseira da parte superior do multiplicador 16:1.

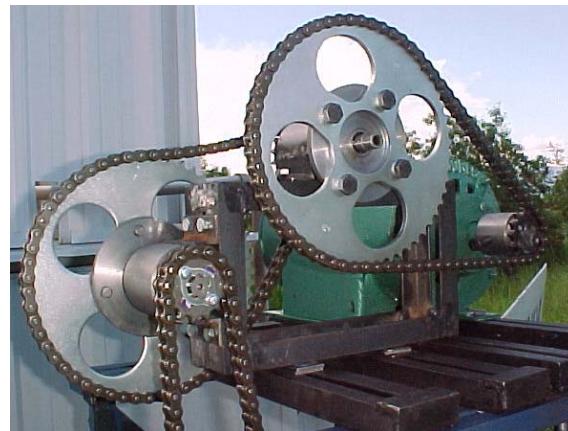


Figura 6. Multiplicador de velocidades com relação 64:1.

A Figura (6) mostra o multiplicador utilizando três relações coroa/pinhão, sendo que a coroa primária está acoplada ao eixo motor da mesma forma como no sistema de relação 16:1.

### 3.2. Sistemas de geração de energia elétrica

Toda a descrição feita até agora foi para demonstrar os processos mecânicos. Porém, é importante descrever como obter a energia elétrica.

O gerador utilizado no sistema do cata-vento fornece corrente alternada em uma faixa de tensão de 12 a 35 V e potência máxima de 500 W. A título de ilustração, com uma potência 132 W é possível suprir 6 lâmpadas fluorescentes compactas de 15 W, uma TV de 20" de 60 W e uma antena parabólica de 30 W, um aparelho de som de 25 W e um ventilador de mesa de 40 W, todos ligados durante 4 horas por dia nos sete dias da semana (Bianchi, 2003).

No caso do cata-vento, tem-se a necessidade de armazenar a energia produzida, pois é provável que o horário de uso da energia não coincida com o momento em que o cata-vento está girando. Para tanto, é preciso conectar alguns aparelhos ao cabo de saída do gerador, de acordo com o diagrama de blocos da Fig. (7). Assim, o gerador fornece a energia para o carregador de baterias. O controlador de cargas recebe esta energia e fornece para as baterias de tal modo que, não ultrapasse dos 13,8 V e controla a energia fornecida para o inversor e as cargas, limitando o fornecimento quando a bateria tem um nível mínimo de 11,5 V (Souza, 2003).

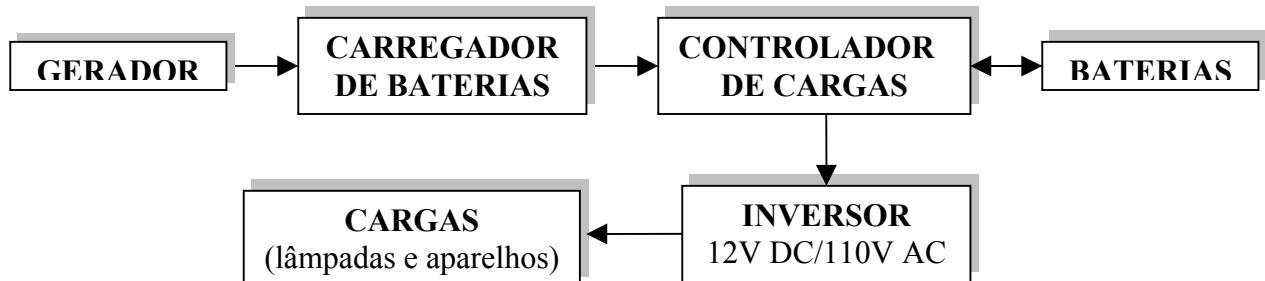


Figura 7. Esquema de ligação para armazenamento e fornecimento de energia elétrica.

## 4. RESULTADOS OBTIDOS

Os sistemas de multiplicação, tanto de relação 16:1 quanto de 64:1, indicados para aplicação em cata-ventos e rodas d'água, apresentaram resultados satisfatórios, fornecendo uma potência de saída do gerador de acordo com as tabelas mostradas a seguir.

Para uma roda d'água com diâmetro de 1,20 m gerando energia elétrica, os testes levaram a Eq. (1), sendo  $P$ , a potência em watts,  $Q$ , a vazão em litros por segundo e,  $D$ , o diâmetro da roda em metros (Souza, 2003).

$$P = 7,16 \cdot Q \cdot D \quad (1)$$

O fator de multiplicação 7,16 da Eq. (1) foi encontrado experimentalmente, a partir do rendimento do gerador e da roda d'água. Os resultados obtidos, usando gerador AC com rotor de ímãs permanentes, são mostrados na Tab. (1), onde  $P_S$  é a potência na saída do gerador, em watts, e  $T$ , o torque medido no eixo do gerador, em N.m.

Tabela 1. Valores de vazão de água na roda, e potência e torque do gerador.

Vazão Q (l/s)	Potência P <sub>S</sub> (W)	Torque T (N.m)
1	8,6	2,74
5	43	13,69
10	86	27,38
20	172	54,74
30	258	82,12
40	344	109,50
50	430	136,87

No caso do cata-vento, também gerando energia elétrica, os resultados dependem da velocidade do vento. A respectiva potência fornecida pelo gerador pode ser calculada com o auxílio da Eq. (2), onde P é a potência, dada em watts, D é o diâmetro do cata-vento, dado em metros e, V é a velocidade do vento, em metros por segundo (Bianchi, 2003).

$$P = 0,15 \cdot D^2 \cdot V^3 \quad (2)$$

O fator de multiplicação 0,15 da Eq. (2) é um valor dependente do coeficiente de potência do motor eólico e da densidade do ar, sendo o diâmetro do cata-vento de 3,40 m. As potências fornecidas pelo gerador são mostradas na Tab. (2), assim como o torque do eixo.

Tabela 2. Valores das potências determinadas pela velocidade do vento.

Velocidade do vento V (m/s)	Potência P (W)	Torque T (N.m)
3	46,8	14,90
5	216,8	69,00
7	594,8	189,33
9	1264,1	402,38
11	2308,0	734,66

Faz-se necessário mencionar que, em situações climáticas normais, a velocidade do vento não ultrapassa de 12 m/s. Ainda, o cata-vento possui um sistema de freio de segurança que pára a roda quando o vento está muito forte.

O desgaste das partes que sofrem maior atrito foi equivalente ao desgaste das peças de transmissão. Numa motocicleta, as peças suportam no mínimo 6.000 km antes de apresentar o primeiro defeito. A partir deste valor, foi calculado que a vida útil do sistema seria no mínimo 3.000 horas de trabalho. Supondo que o sistema trabalha no mínimo 5 horas por dia, como no caso do cata-vento, o mesmo poderia funcionar aproximadamente 600 dias sem reposição de nenhuma peça. Considerando no máximo 10 horas de funcionamento por dia, usando roda d'água, por exemplo, o sistema funcionaria 300 dias sem necessidade de reposição de peças.

## 5. CONCLUSÃO

Portanto, através dos multiplicadores de velocidades apresentados, com relação de 16:1 e 64:1, foi possível obter velocidades suficientes para acionar os geradores com rotores de ímãs permanentes de 600 rpm a 1800 rpm. As vantagens mais importantes são que neste tipo de transmissão não há deslizamento e desgaste precoce de mancais, correntes e todas as partes mecânicas. Também o custo previsto é bem menor que o de transmissão de polias e correias.

No cata-vento foram realizadas experiências com ventos de 3 a 11 m/s fornecendo potência de 46 a 2308 W, respectivamente. Assim obteve-se como torque máximo no gerador o valor de 734 N.m com velocidade média de 30 rpm no eixo do cata-vento.

Para a roda d'água, os resultados foram obtidos com vazão de 1 a 50 l/s fornecendo potência de 8 a 430 W com torque máximo de 136 N.m, a uma velocidade constante de 30 rpm.

Também foi mostrado que usando uma potência abaixo de 150 W, é possível alimentar todos os aparelhos básicos de uma residência.

Além de ser um sistema compacto e modular, ele pode ser aplicado tanto em motores eólicos quanto em rodas d'água permitindo assim uma utilização em vários sistemas de acionamento mecânico.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem primeiramente a Deus, sem o qual nada poderia ser feito. A PROPP – UNESP. A Cata-ventos Fênix Fortuna, a Avant, NH Geradores e ZM Bombas pelas doações realizadas durante o desenvolvimento do projeto. Aos técnicos, Benedicto, Rodolfo, Alex Teixeira e José Carlos pelo apoio técnico.

## 7. REFERÊNCIAS

- Bianchi, I., Souza, T. M., Affonso, C. E., 2003, "Software for Small Wind-Electric Power Plants Design", WWEC 2003 – The World Wind Energy Conference and Renewable Energy Exhibition. ISBN 0-95846639-4.
- Melconian, S., 1949, "Elementos de Máquinas", 3<sup>a</sup> edição, Ed. Érica, São Paulo.
- Souza, T. M., Leonel, R. C., Bianchi, I., 2003, "Evaluation of the permanent magnets generator for power supply moved by windmill of blades", WWEC 2003 – The World Wind Energy Conference and Renewable Energy Exhibition. ISBN 0-95846639-4.
- Souza, Teófilo M., Bianchi, I. at all 2003. "Desenvolvimento de Software Para Dimensionamento de Microhidrelétricas com Geradores a Ímãs Permanentes e Potências até 10kW". 5<sup>th</sup>. Latin-American: Electricity Generation and Transmission. São Pedro-SP. ISBN 85-903471-1-7.

## SPEED MULTIPLICATION SYSTEM FOR AEOLIAN ENGINES AND WATERMILL

### Teófilo Miguel de Souza

Centro de Energias Renováveis - UNESP - Guaratinguetá  
Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333 - Bloco IV - Bairro Pedregulho  
CEP 12516-410 - Guaratinguetá - SP  
E-mail: teofilo@feg.unesp.br

### Marco Aurélio Ferla de Oliveira

Centro de Energias Renováveis - UNESP - Guaratinguetá  
R. Padre Roma, nº 8 - Nova Guará  
CEP 12515-540 - Guaratinguetá - SP  
E-mail: maferla@ig.com.br

*This paper presents the project and development of a multiplication of speed system aimed at aeolian engines, for example, a windmill, or watermill. It consists in increasing the rotation supplied for referred the types of engines. The low rotation, through torque transference, is transformed into enough rotation to set in motion a permanent magnets generator for supply of electric energy. Using a system of adaptable coupling for aeolian engine or watermill, the rotation*

*is transferred to a crown that is fixed by means of chain to a turning gear (crown/turning gear = 4:1 ratio). The turning gear is connected in an extremity of an axle that has, in the other extremity, a crown of the same size that the first one cited. This crown is fixed by means of another chain to a second turning gear that is fixed in the axle of the generator. The system runs with aid of axles and ball bearing imprisoned the bearing which are fixed in a base. The transmission of rotation with pulleys and leather straps produces greater efforts in the system, therefore it has the objective to minimize the landslide between the components that, generally, are of great dimensions. The system developed with crowns, chains and turning gears had its dimensions reduced and revealed more efficient than others usually used with pulleys and leather straps.*

*Key-words: speed multiplier; alternative energy; watermill; windmill*