

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

GUILHERME BARROZO VIEGAS

SISTEMA EÓLICO DE MOVIMENTAÇÃO E AQUECIMENTO DE
ÁGUA PARA PISCINAS - SEMA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2014

GUILHERME BARROZO VIEGAS

**SISTEMA EÓLICO DE MOVIMENTAÇÃO E AQUECIMENTO DE
ÁGUA PARA PISCINAS - SEMA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Mecânico, do Departamento Acadêmico da Mecânica – DAMEC, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Celso Naves de Souza

CORNÉLIO PROCÓPIO

2014

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador prof. Dr. Celso Naves de Souza, por toda paciência e sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

A toda minha família que me apoiou em todos os momentos.

Aos amigos, professores e todos que contribuíram para a realização desta pesquisa.

Não é preciso ter olhos abertos para ver o sol, nem é preciso ter ouvidos afiados para ouvir o trovão. Para ser vitorioso você precisa ver o que não está visível.

Sun Tzu

RESUMO

VIEGAS, Guilherme Barrozo. **Sistema eólico de movimentação e aquecimento de água para piscinas - SEMA**. 2014. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2014.

A utilização de energias renováveis vem sendo uma solução prática e eficiente para a aplicação em diversas áreas. Neste trabalho se abordará os princípios de aquecimento de piscinas exclusivamente por meio de fontes renováveis de energia e utilização de materiais de baixo custo. O sistema se consiste em um conjunto de equipamentos alternativos de fácil fabricação, onde uma turbina eólica do tipo savonius, construída com tonéis de plástico será utilizada para a captação da energia eólica, substituindo o uso do motor elétrico. Esta energia eólica será transmitida do eixo da turbina por meio de um sistema biela-manivela para uma bomba hidráulica de pistão feita de tubos de PVC, esta bomba mantém o fluxo de água da piscina para a mangueira de polietileno disposta em espirais que age como um coletor solar aquecendo a água por meio da radiação solar e devolvendo-a para a piscina. Este sistema tem como principais características a viabilidade econômica e energética, os componentes serão dimensionados de acordo com as características climáticas e dimensões da piscina e suas proximidades. Serão demonstrados comparativamente as viabilidades econômica, energética e de materiais deste sistema alternativo com outros sistemas convencionais de aquecimento de piscina.

Palavras-chave: Energias renováveis. Baixo custo. Eficiência. Turbina eólica. Aquecimento de piscina.

ABSTRACT

VIEGAS, Guilherme Barrozo. **Wind system of moving and heating water for pools** - **SEMA**. 2014. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Federal Technology University - Paraná. Cornélio Procópio, 2014.

The use of renewable energy has been a practical and efficient solution for application in so many areas. This work will focus on the principles of swimming pools that can be self heated using renewable energy sources and low cost materials. The system is consisted with alternative equipment that are easy to be manufactured. The wind turbine, which is savonius type and constructed with plastic barrels is used to capture the wind energy. Therefore, it is not necessary to use an electric motor. The wind energy is transmitted from the turbine shaft through a rod-crank system to a piston hydraulic pump pipes made of pvc. This pump maintains the flow of water from the swimming pool to the polyethylene disposed in spiral that acts as a solar collector and heats the water using solar radiation and returns it to the swimming pool. This system's main features are the economic and energy feasibility, components are scaled according to the climatic characteristics, dimensions of the pool and its surroundings. Finally, will be compared the economic viability, energy and materials system alternative with other conventional heating systems for swimming pools.

keywords: Renewable energies. Low cost. Efficiency. Wind turbine. Pool swimming heating.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 OBJETIVOS	10
1.1.1 OBJETIVO GERAL	10
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
2 FONTE E POTÊNCIA EÓLICA	11
3 COMPONENTES DO SISTEMA	12
3.1 TURBINA EÓLICA	12
3.2 TRANSMISSÃO	17
3.3 BOMBEAMENTO	21
3.4 COLETOR SOLAR	25
4 DIMENSIONAMENTO	27
4.1 TURBINA EÓLICA	27
4.2 ESTRUTURA DA TURBINA	29
4.3 TRANSMISSÃO	30
4.4 BOMBEAMENTO	32
4.5 COLETOR SOLAR	34
5 RESULTADOS OBTIDOS	36
6 COMPARAÇÃO COM OUTROS SISTEMAS CONVECIONAIS	41
6.1 BOMBA DE CALOR	41
6.2 AQUECEDOR A GÁS	42
6.3 AQUECEDOR POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA	43
6.4 AQUECEDOR A ÓLEO DIESEL OU GÁS	44
6.5 AQUECEDORES A LENHA	44
6.6 AQUECEDORES SOLARES CONVENCIONAIS	45
6.7 ANÁLISE DOS DADOS	46
7 CONCLUSÃO	49
7.1 SUGESTÕES PARA MELHORIA DO SEMA	49
REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

O mercado de piscinas vem crescendo cada vez mais no Brasil. Nos últimos dez anos, as vendas de produtos químicos de tratamento de água de piscinas aumentaram a uma média de 10% ao ano. De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes e Construtores de Piscinas e Produtos Afins (ANAPP) estima-se que o Brasil possua cerca de 1,5 milhões de piscinas, atrás apenas dos Estados Unidos (VEJA ON-LINE, 2004).

Em algumas regiões do Brasil, a temporada de banho é reduzida devido as baixas temperaturas, sendo assim, se faz necessário a utilização de algum sistema de aquecimento para manter a temperatura da água agradável, aumentando o período de utilização das piscinas. Os sistemas mais comuns a serem utilizados são aquecedores elétricos, aquecedores a óleo ou gás, bombas de calor e aquecedores solar. Manter um aquecedor para piscina geralmente acarreta um grande custo, tanto na aquisição, como na manutenção e operação, com gastos contínuos de energia elétrica, óleo diesel ou gás, tornando um privilégio para poucos. O aquecedor solar, apresenta a vantagem do baixo custo de aquisição e operação, além dos menores impactos ambientais comparado com outros tipos de aquecedores.

O uso de coletores solares para aquecimento de água é uma das várias maneiras de se aproveitar o imenso potencial solar brasileiro, tendo que maior parte do território se localiza na região inter-tropical, possuindo grande potencial para aproveitamento da energia solar durante todo ano. O índice de radiação é um dos mais altos do mundo, a região nordeste, devido à proximidade com a linha do equador, apresenta um potencial significativo de radiação, com uma disponibilidade média de 500 a 700 W/m², conforme o atlas de irradiação solar do Brasil. Praticamente em maior parte do território brasileiro, as condições de aplicação da energia solar são bastantes efetivas para a substituição de combustíveis fósseis e da própria energia elétrica.

A utilização de uma outra fonte de energia renovável praticamente inesgotável pode ser feita por meio da bomba movida a vento, o uso da energia eólica para bombeamento de água, já vem sendo utilizada a muito tempo atrás, desde o século X já existe relatos de turbinas radiais de arrasto, utilizadas em moinhos de vento para movimentação de água para irrigação ou drenagem. Este princípio simples de movimentação de água ainda pode ser muito rendável e eficiente nos dias atuais, aproveitando-se do grande potencial eólico brasileiro, estimado em cerca de 140 GW,

o que equivale a dez usinas de Itaipu gerando energia sem parar. Essa estimativa dada pelo Ministério de Minas e Energia, é 50% a mais que toda energia utilizada no país atualmente, somando todos os outros meios de geração (BRASIL SOLAIR, 2013).

A substituição da motobomba elétrica pela bomba eólica, requer uma série de fatores fundamentais para a sua eficácia. Um dos pontos mais importantes é a escolha da turbina ideal para a captação da energia eólica, uma vez que existem vários tipos e modelos de turbinas eólicas. Dentre elas, o modelo proposto pelo engenheiro finlandês Sigurd J. Savonius em 1929, apresenta várias vantagens para o uso em bombeamento e como força motriz. Diferente das turbinas convencionas de sustentação, que trabalham em eixo horizontal podendo alcançar alta rotação angular e baixo torque, o rotor de Savonius tem predomínio de força de arrasto, trabalhando em eixo vertical. Devido as forças predominantes de arraste, a turbina apresenta uma baixa rotação angular, nunca ultrapassando a velocidade do vento, o que acarreta um alto torque, possibilitando o funcionamento com baixas velocidades de vento vindo de qualquer direção. O torque de Savonius é produzido pela diferença de pressão entre a superfície côncava e a convexa, e também pela recirculação do ar que chega por trás da superfície convexa (FARRET, 2010). Sua construção é de baixo custo, podendo constituir-se de duas partes de um tonel de plástico ou metal de 200 litros cortado ao meio, fixadas uma em oposição à outra por uma de suas arestas longitudinais opostas. Suas principais vantagens são: simplicidade de fabricação e manutenção, possibilidade de vários estágios, baixa rotação angular que minimiza o desgaste de seus componentes móveis, alto torque em plena operação, baixo ruído e o fato de ser uma turbina que opera com o eixo na vertical, aceitando vento de qualquer direção para o seu funcionamento.

Uma vez escolhido a turbina, deve-se identificar o modelo de bomba hidráulica que melhor se ajusta ao sistema. Bombas centrífugas apresentam uma alta rotação, se tornando incompatíveis, já que a turbina apresenta baixa rotação. Esta limitação em operações em baixas velocidades de rotação, imposta pela turbina, leva a escolha de bombas de deslocamento positivo, onde a transmissão de energia ao líquido acontece diretamente pela ação de um êmbolo, provocando o deslocamento de um volume definido de líquido em direção a tubulação de recalque. A bomba hidráulica de deslocamento positivo, tipo alternativa de pistão de simples efeito é de fácil fabricação, composta de um cilindro, êmbolo e duas válvulas de retenção, uma ligada

à canalização de sucção e outra ligada à canalização de recalque. Quando o êmbolo se movimenta-se em direção ao ponto morto inferior, produz uma depressão dentro do cilindro, abrindo a válvula de admissão e fazendo com que a pressão do reservatório de sucção impulse o líquido para o seu interior. No momento em que o pistão retorna ao ponto morto superior, a válvula de descarga abre-se e o líquido é descarregado a tubulação de recalque (HENN, 2012).

A transmissão de potência do eixo da turbina para a bomba hidráulica é feita em dois estágios, no primeiro uma transmissão por corrente faz com que a velocidade de rotação da roda dentada motora da bomba seja menor que a da turbina. Isto porque a faixa de velocidade de rotação de operação do tipo da bomba escolhida abrange valores menores que aqueles de operação da turbina. Além disso, o aumento do torque na polia motora da bomba faz com que vença maiores alturas de elevação da água. O sistema de transmissão por corrente é de fácil fabricação, mais barato que transmissão por engrenagens, apresenta maior resistência e capacidade de tração que uma correia e de fácil acesso ao mercado, podendo ser composto por uma catraca e coroa de bicicleta. O segundo estágio da transmissão, transforma o movimento rotativo da polia em alternativo, por meio de um dispositivo tipo biela-manivela, onde a polia maior age como manivela, fazendo assim a biela proporcionar o movimento retilíneo do êmbolo dentro do cilindro.

Vários modelos de bombas hidráulicas movidas pelo rotor de Savonius já foram construídas apresentando resultados satisfatórios, principalmente pesquisas na utilização destas bombas no meio agrícola, para uso em irrigações. Entretanto não existe relatos de bomba de vento para movimentação de águas de piscinas. Este trabalho visa o dimensionamento e validação de um sistema inovador e totalmente ecologicamente correto, proporcionando a circulação e aquecimento d'água somente com o uso de energias renováveis, onde uma turbina captura a energia eólica, que é transmitida para uma bomba hidráulica mantendo o fluxo da água para um coletor solar, garantido o aquecimento e retorno da água aquecida para a piscina. Será feita a viabilidade econômica e energética do projeto, comparando com os demais aquecedores existentes no mercado.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema alternativo e renovável para o aquecimento de piscinas, utilizando energia solar, eólica e materiais de baixo custo

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Selecionar componentes de baixo custo e alta eficiência que se adequem ao sistema.
2. Dimensionar todos componentes do sistema de aquecimento de acordo com a piscina à ser estudada.
3. Comparar seu rendimento e custo com outros sistemas convencionais.

2 FONTE E POTÊNCIA EÓLICA

O vento nada mais é que o ar em movimento, o que gera esse movimento é a circulação das camadas de ar provocada pelo aquecimento desigual da superfície terrestre e pela rotação do planeta. Apenas ventos na camada inferior da atmosfera podem ser aproveitados pelas turbinas eólicas, sofrendo a ação de vários fatores na distribuição da sua velocidade, como condições de terreno, presença de obstáculos como árvores e prédios, fatores climáticos da região e condições de estabilidade atmosférica.

A velocidade do vento é uma grandeza vetorial, a direção do vento indica a direção de onde ele provém. Para o uso de turbina eólica de eixo vertical, somente a intensidade da componente horizontal da velocidade do vento é levado em conta, considerando algumas flutuações, onde o nível de perturbações vindo de tais flutuações é chamado de rajada.

A energia cinética do movimento do ar é denominada energia eólica. A potência disponível no vento é diretamente proporcional ao cubo da velocidade desse vento. Isso significa que se o vento aumentar sua velocidade apenas 10%, a potência disponível aumentará 33%. Se, por exemplo, tivermos um vento que aumenta sua velocidade de 7 m/s para 8 m/s, a potência disponível passará de 343 W para 512 W. Basta que o vento aumente em 25% sua velocidade para que a turbina eólica tenha um aumento de praticamente 100% na potência gerada (PINTO, 2013, p. 69).

Para a construção do projeto, é necessário quantificar a velocidade do vento, verificando sua velocidade média e de maior rajada de vento na determinada região. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), deve-se ser levado em conta as forças devidas à ação estática e dinâmica do vento para cálculo de edificações, conforme a norma NBR 6123. De acordo com o regulamento, o cálculo da força devido ao vento, leva em conta condições da região onde será feito o projeto, algumas delas são: fatores topográficos, rugosidade do terreno, dimensão da edificação e fatores estáticos. Para identificar a máxima velocidade característica do vento V_k , são necessários valores de parâmetros adequados onde a estrutura será construída, como V_0 que é a velocidade básica do vento, sendo a velocidade de uma rajada de 3 segundos, excedida em média uma vez em 50 anos, e os fatores S_1 , S_2 , e S_3 .

$$V_k = V_o S_1 S_2 S_3 \quad (1)$$

O protótipo do projeto será construído na região urbana de Cornélio Procópio, cidade localizada no norte do estado do Paraná. Seguindo a norma, essa região possui valor de V_o correspondente a 45 m/s. O fator topográfico se encaixa na categoria A, sendo $S_1 = 1$. O fator de rugosidade do terreno se enquadra na categoria IV com cota média do topo dos obstáculos de 10 metros, a dimensão da edificação se encontra na classe A, tendo assim $S_2 = 0,93$. O fator estático considera o grau de segurança e vida útil da edificação, podendo ser considerado no grupo 2, onde $S_3 = 1$. Sendo assim, a máxima velocidade característica do vento V_k , corresponde a 42 m/s, está velocidade deve ser considerada para fins de segurança do projeto, apurando as forças atuantes do vento e seus efeitos.

O estado do Paraná publicou a primeira versão do seu atlas eólico em 1999, desenvolvido pela Copel (Companhia Paranaense de Energia). Em 2003 uma nova versão de medição foi realizada com equipamentos mais sofisticados, torres de treliças de 50 a 100 metros de altura foram instaladas de acordo com o antigo mapa eólico, sendo uma delas localizada em Cornélio Procópio. Foi encontrada uma velocidade média do vento de 5,10 m/s nesta região, uma média considerável de velocidade. Outro fator importante, segundo a COPEL, em regime sazonal, em termos de médias mensais, a velocidade do vento apresenta maior intensidade nos períodos de inverno e primavera, justamente quando as temperaturas estão mais baixas, necessitando assim de aquecimento para utilização de piscinas.

3 COMPONENTES DO SISTEMA

3.1 TURBINA EÓLICA

A turbina eólica é um conversor fluido-mecânico, que absorve parte da energia cinética do vento, convertendo-a em energia mecânica, aproveitando a potência do eixo rotativo de saída. A turbina considerada neste trabalho é formada por um rotor tipo Savonius acoplada em um eixo vertical, feita a partir de um tambor de 200 litros de plástico cortado ao meio.

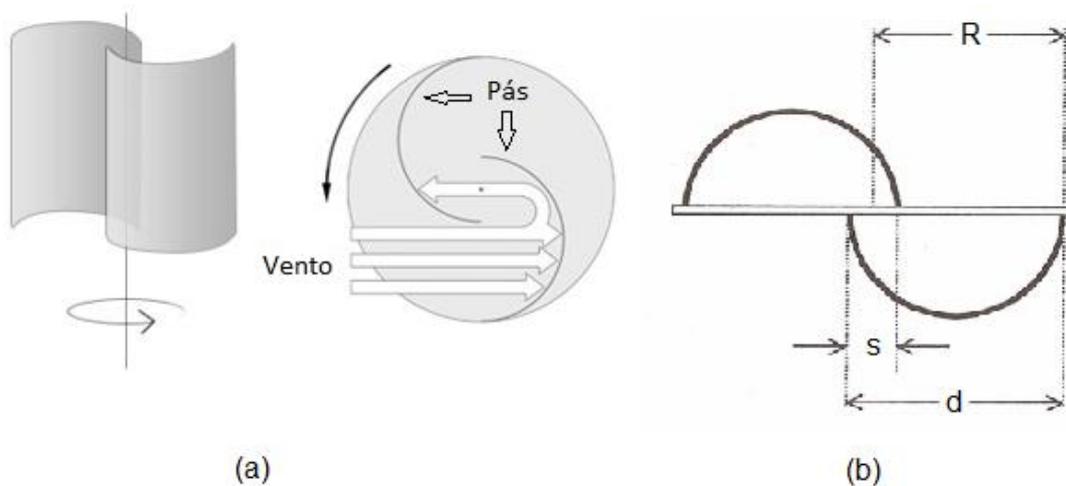


Figura 1 – Turbina de Savonius. (a) Duas visões de uma turbina de Savonius; (b) Corte transversal

Fonte: Adaptado de Pinto (2013) e Farret (2010)

O seu modo de funcionamento é o resultado das diferenças das forças de arrasto produzido entre as superfícies côncava e convexa das pás, gerando o seu torque. Embora teoricamente, seja mostrado que o pico de eficiência dos rotores Savonius não pode ultrapassar o limite de 20%, já se alcançou uma eficiência máxima de 31% sob testes em túnel de vento e 37% no fluxo de ar livre (PINTO, 2013).

A relação entre potência extraída pelo vento e a potência disponível pelo vento é dada por C_p , o chamado coeficiente de potência.

$$C_p = (P_{ext}) / (1/2) \rho A V^3 \quad (2)$$

É essencial saber como o rotor se comporta em relação ao vento, para isso é analisado a velocidade na ponta da pá da turbina, denominada TSR ou λ . Ela pode ser relacionada entre a velocidade periférica do rotor $R_r \cdot \omega_t$ (onde R_r é o raio do rotor e ω_t sua velocidade de rotação) e a velocidade do vento V :

$$\lambda = (\omega_t R_r) / V \quad (2.1)$$

Muitas vezes o rendimento das turbinas eólicas são apresentados graficamente através de curvas, que relacionam C_p com λ . Na figura - 2 observamos o rendimento de algumas turbinas mais comuns, percebemos que o rendimento

máximo é cerca de 60%, este é o valor máximo que uma turbina eólica pode retirar da potência disponível pelo vento, esse parâmetro é conhecido como limite de Beltz, nome dado em homenagem ao físico alemão Albert Johann Beltz, que foi pioneiro na tecnologia de turbinas eólicas, seu trabalho comprova que independentemente do design da turbina, apenas 59,3% pode ser convertido em energia mecânica.

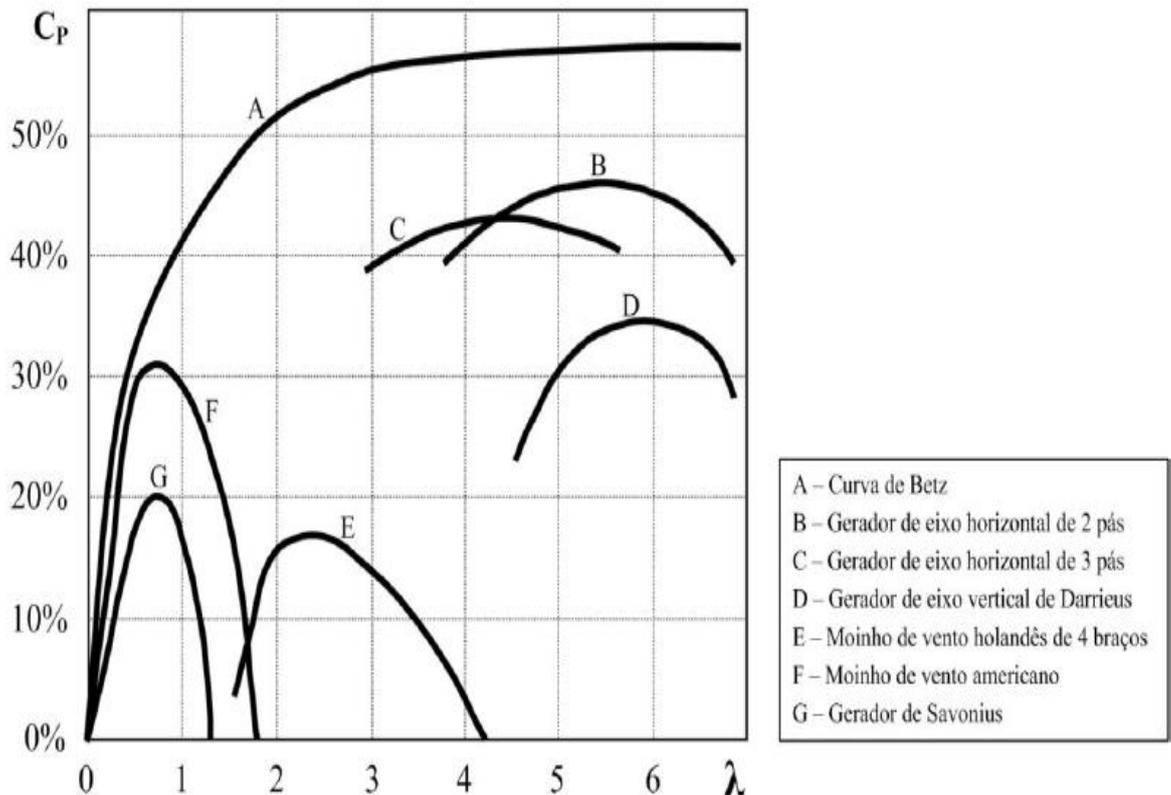


Figura 2 – Relação entre coeficiente de potência e a razão da velocidade de ponta para diversos tipos de turbinas.
Fonte: Adaptado de Menet

Turbinas eólicas modernas de eixo horizontal são as únicas que conseguem aproximar-se do limite de Beltz, devido a esse alto rendimento, vários estudos foram feitos sobre esse modelo de turbina, tornando fácil prever seu comportamento aerodinâmico. Entretanto é difícil de se prever o comportamento aerodinâmico do rotor de Savonius, teorias estudadas para rotores de sustentação não se aplicam para o modelo de Savonius. Na bibliografia estudada, nenhum modelo matemático que descreve o comportamento exato do rotor foi encontrado, todas as curvas de desempenho foram obtidas de modelos reduzidos testados em tuneis de vento ou em ensaios em campo com protótipos.

O rotor de Savonius apresenta desvantagem em relação ao seu peso por unidade de potência, devido a sua superfície de ataque ao vento ser totalmente preenchida por material, necessitando de muito mais material que um rotor tipo convencional. Este fator somado ao seu baixo rendimento comparado a outros rotores horizontais, faz com que a máquina de Savonius não seja muito utilizada para a geração de eletricidade, se tornando assim, útil e econômica para sistemas de pouca potência, como bombeamento de água ou ventilação.

A potência extraída do vento por uma turbina de Savonius, pode ser obtida pelo rearranjo da equação (2), formando a seguinte expressão:

$$P_{\text{ext}} = (C_p \rho A V^3) / 2 \quad (2.2)$$

Onde ρ é a densidade específica do ar, A a área da superfície varrida pelas hélices ou pás e V a velocidade nominal do vento. Quando uma turbina eólica extrai potência do vento, ela transmite energia ao eixo rotativo, gerando um determinado torque. Uma expressão para o torque mecânico total pode ser dado por:

$$T_t = (\rho A R_r V^2 C_t) / 2 = P_{\text{ext}} / \omega_t \quad (2.3)$$

Sendo R_r o raio do rotor, e ω_t a velocidade angular da turbina em rad/s, o coeficiente de torque C_t é definido como:

$$C_t = C_p / \lambda \quad (2.4)$$

Segundo Menet, quando $\lambda = 1$, o C_p é máximo, podendo alcançar a maior potência extraída. Podemos analisar a partir da figura - 3 o desempenho de um rotor de Savonius em função de λ .

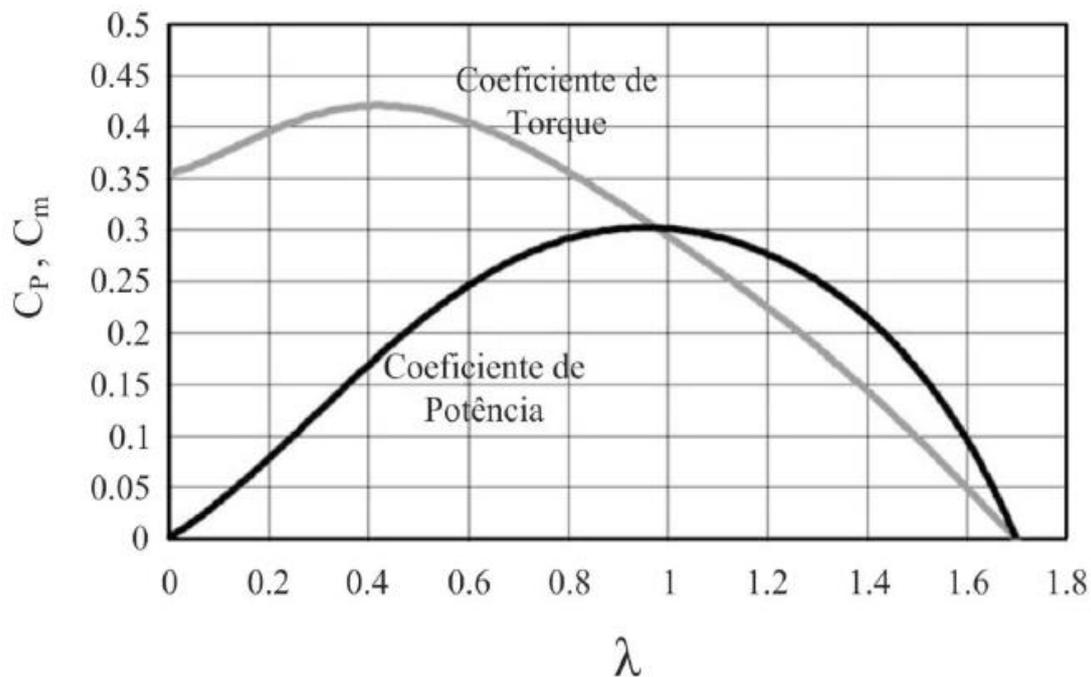


Figura 3 – Coeficiente de potência e torque em relação a λ
 Fonte: Adaptado de Menet

Verificamos que quando $\lambda = 1$, o coeficiente de potência C_p assume um valor de aproximadamente 0,3. Entretanto, para o cálculo da potência teórica vamos trabalhar com $C_p = 0,2$ que assume valores mais relevantes considerando testes de campo. Este valor de $C_p = 0,2$ é bem aceito em várias bibliografias, outras utilizam $C_p = 0,15$, porém vamos manter 0,2 para maximizar os desempenhos obtidos.

Para fins de projeto, é imprescindível saber a força de arrasto que atua sobre o sistema. Segundo Fox, esta força de arrasto pode ser apresentada por uma expressão, que embora tenha sido obtida para uma esfera, a sua forma é válida para o escoamento incompressível sobre qualquer corpo:

$$F_D = (C_D \rho V^2 A) / 2 \quad (2.5)$$

O coeficiente de arrasto C_D é característica do perfil da pá da turbina, e depende o ângulo de incidência, como o vento age na direção horizontal, perpendicularmente a área A projetada pela turbina, esse ângulo pode ser desconsiderado. Para o rotor de Savonius, o coeficiente de arrasto é obtido pelo escoamento do vento na superfície de geometria semicircular no lado côncavo do

tambor. Consultando tabelas de coeficiente de arrasto para diversos corpos, de acordo com Frank M. White, o valor pode ser aproximado como $C_D = 2,3$.

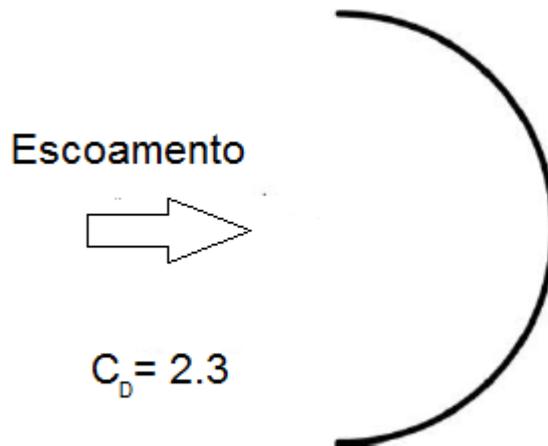


Figura 4 – Escoamento em um corpo semicircular em seu lado côncavo.
Fonte: Adaptado de White (2011)

Além dos fatores aerodinâmicos que atuam sobre a turbina, alguns parâmetros geométricos são fundamentais para o seu desempenho. Um deles é a relação entre o deslocamento dos semicilindros s , e o diâmetro do tambor d .

$$\beta = s / d \quad (2.6)$$

A constante β relaciona a sobreposição das pás. Simulações feitas com rotores de Savonius, apontam resultados satisfatórios para β entre 0,2 e 0,3. Outro tipo de afastamento entre as pás só fariam os coeficientes de potência e torque diminuir. O valor ideal foi estipulado para $\beta = 0,242$, onde se apresentou maior coeficiente de torque (Menet, 2012).

3.2 TRANSMISSÃO

Para converter a potência associada ao eixo de rotação da turbina em um movimento retilíneo, será utilizado um conjunto biela-manivela acoplado em uma transmissão por corrente, que proporciona uma redução da velocidade angular da turbina para a velocidade da manivela. Devido ao fato do rotor de Savonius possuir

uma transmissão de relação fixa, resulta um sistema eólico de velocidade variável, dependendo da velocidade do vento. Para iniciar o funcionamento do sistema a partir de nenhuma velocidade de rotação, ou seja, com o rotor estático, é necessário que o torque da partida da turbina exceda o torque da carga. Portanto, existe uma velocidade do vento requerida para dar partida no sistema. Uma vez que essa velocidade de partida for igualada ou ultrapassada, o sistema entra em operação, devido a sua força inercial de movimento, seu funcionamento pode ser garantido mesmo com velocidades de vento menores que a velocidade requerida para a partida.

O ideal é que o acoplamento da turbina eólica com a carga seja de tal forma que, quando for selecionada a relação de transmissão que leve a uma velocidade de partida desejada, a curva de carga resultante coincida aproximadamente com o lugar geométrico dos pontos de eficiência máxima da turbina (Simões, 1986, p. 27).

No primeiro estágio da transmissão, composto por uma transmissão por corrente, pode ser feito com a utilização de uma catraca e coroa de bicicleta. A escolha destes componentes foi feita devido a facilidade e baixo custo de aquisição, além da transmissão por corrente garantir mais segurança ao sistema, descartando a possibilidade de escorregamento.

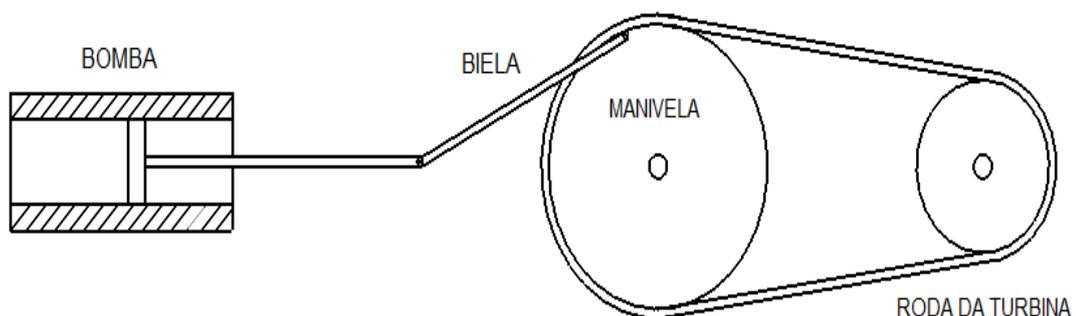


Figura 5 – Vista superior do esquema de transmissão composta
Fonte: Autoria própria

Para a transmissão por corrente, a relação de velocidades pode ser determinada pela relação da rotação, raios e número de dentes das rodas (MELCONIAN, 2008):

$$N_t / N_m = R_m / R_t = Z_m / Z_t = T_m / T_t = \omega_t / \omega_m = i \quad (2.7)$$

Onde:

N_t = Velocidade de rotação da turbina [RPM];

N_m = Velocidade de rotação da manivela [RPM];

R_t = Raio da roda da turbina;

R_m = Raio da roda da manivela;

Z_t = Número de dentes da catraca da turbina;

Z_m = Número de dentes da coroa da manivela;

ω_t = Velocidade angular da turbina [rad/s];

ω_m = Velocidade angular da manivela [rad/s];

i = Relação de velocidade ou transmissão entre a roda da turbina e da manivela.

Segundo Shigley, o diâmetro de passo primitivo da roda dentada D_p , pode ser apresentado como:

$$D_p = p / (\text{sen} (180^\circ / Z)) \quad (2.8)$$

Onde p é o passo da corrente, e Z o número de dentes da roda.

Segundo Melconian, o rendimento n_c de transmissões por corrente varia de 0,98 a 0,99. Assim, podemos dizer que o torque T_m na manivela é:

$$T_m = n_c i T_t \quad (2.9)$$

O segundo estágio de transmissão transforma o movimento rotativo em alternativo, por meio de um sistema biela-manivela. Sua cinemática é mostrada a seguir, onde R é o raio da manivela:

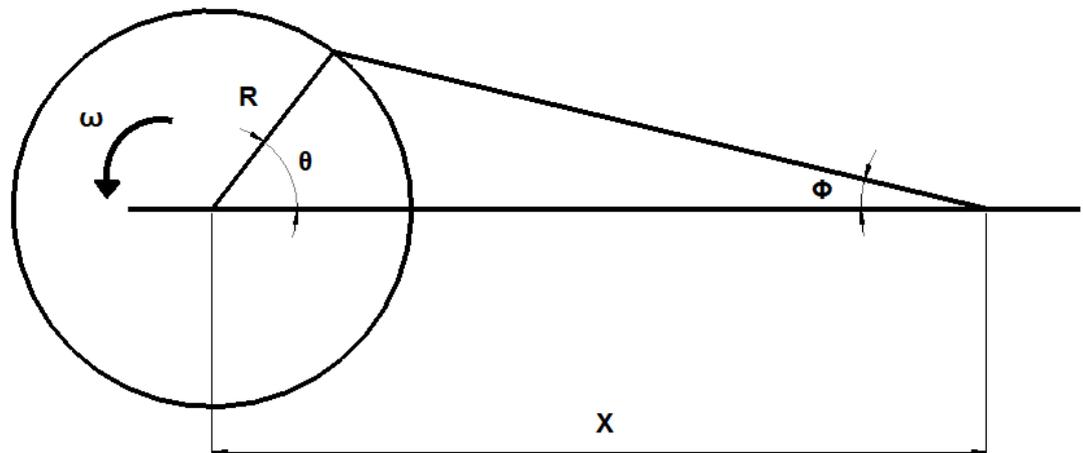


Figura 6 – Cinemática sistema biela-manivela
Fonte: Autoria própria

Por trigonometria sabemos que:

$$R \cos \theta + L \cos \Phi = x \quad (2.10)$$

Como $R \sin \theta = L \sin \Phi$, temos:

$$\Phi = \arcsen \left(\frac{R \sin \theta}{L} \right) \quad (2.11)$$

Substituindo na equação (2.11) encontramos a posição x do pistão:

$$x = R \cos \theta + L \sqrt{1 - \left(\frac{R}{L} \sin \theta \right)^2} \quad (2.12)$$

Derivando a equação (2.11) em função do tempo, podemos obter expressões exatas da velocidade e aceleração. Entretanto, para fins de facilitar os cálculos e interpretação, usando o teorema binominal, pode ser feita uma análise aproximada, permitindo prever facilmente os resultados das decisões de projeto que envolvem essas variáveis (NORTON, 2010). Temos assim:

$$x = R \cos \theta + L \left[1 - \left(\frac{R^2}{2L^2} \sin^2 \theta \right) \right] \quad (2.13)$$

$$v = -R \omega \left(\text{sen } \theta + \frac{R}{2L} \text{sen } 2\theta \right) \quad (2.14)$$

$$a = -R \omega^2 \left(\cos \theta + \frac{R}{L} \cos 2\theta \right) \quad (2.15)$$

A manivela, transmite uma potência para o pistão da bomba:

$$P_m = T_m \omega_m \quad (2.16)$$

A eficiência do bombeamento, pode ser obtida de uma expressão relacionando a potência pretendida pela potência gasta, sendo P_u a potência útil de bombeamento, temos:

$$\eta_b = P_u / (T_m \omega_m) \quad (2.17)$$

Portanto, a potência para o bombeamento pode ser definida pelo produto entre os rendimentos da transmissão por corrente, bombeamento e pela potência da turbina, ou seja:

$$P_u = \eta_c \eta_b P_{\text{ext}} \quad (2.18)$$

3.3 BOMBEAMENTO

A bomba alternativa de pistão se adequa perfeitamente ao sistema biela manivela, pode ser feita facilmente com um tubo de PVC que age como cilindro com um êmbolo que movimenta o fluido.

Enquanto as bombas centrífugas vêm dominando cada vez mais o mercado, as bombas de deslocamento positivo têm um domínio incontestável em aplicações em controle de transmissões hidráulicas, devido a sua capacidade de recalque de uma quantidade praticamente invariável de líquido, independente da pressão do sistema em que atuam, para uma velocidade fixa do motor de acionamento.

A vazão média recalçada de uma bomba de pistão de simples efeito, pode ser dada por:

$$Q_t = \frac{\pi D^2}{4} L \frac{N_m}{60} \quad (2.19)$$

Onde:

Q_t = Vazão média teórica recalçada [m^3/s];

D = Diâmetro interno do cilindro [m];

L = curso do pistão, $2.R$ [m];

N_m = Velocidade do eixo de rotação da manivela [RPM].

Entretanto, devido a vazamentos nas tubulações, pistão, válvulas, e a possíveis formação de bolhas na câmara da bomba, a vazão realmente bombeada é menor que a teórica Q_t . Sendo assim temos:

$$n_v = Q / Q_t \quad (2.20)$$

Onde n_v é a eficiência volumétrica e Q a vazão real recalçada.

Segundo Simões, a faixa de variação dos valores das eficiências encontradas varia entre $0,85 \leq n_v \leq 0,99$. Mostrando que podem ser atingidos bons rendimentos volumétricos.

Enquanto nas bombas centrífugas a vazão varia em função da variação da altura de elevação, nas bombas de deslocamento positivo, a vazão recalçada, teoricamente, independe da altura desenvolvida.

Um exame das curvas em um sistema de coordenadas $Q = f(H)$, para rotação constante, é representado por uma reta paralela ao eixo H , isto mostra, que teoricamente, para uma velocidade de rotação constante, este tipo de bomba fornece uma vazão constante, não importa o valor da pressão a ser vencida (HENN, 2012, p. 445).

A potência útil de bombeamento P_u pode ser obtida por:

$$P_u = \gamma Q H \quad (2.21)$$

Onde γ é o peso específico da água, e H a altura manométrica.

Se for analisado o comportamento do escoamento de fluidos em dutos, é possível distinguir dois tipos de perda de carga. O primeiro tipo, chamado de perda de carga distribuída, acontece ao decorrer de tubos retos, de seção constante, devido ao atrito das próprias partículas do fluido entre si. Esta situação somente é considerada se houver trechos relativamente longos de condutos, pois o atrito acontecerá de forma distribuída ao decorrer deles. O segundo tipo trata das perdas de carga locais ou singulares. Elas acontecem em locais da instalação onde o fluido sofre perturbações bruscas em seu escoamento. Essas perdas podem apresentar grandes valores em pequenos trechos de dutos, como, por exemplo, em válvulas, obstruções, junções, mudança de direção, registros, reduções e alargamentos bruscos.

No caso, vamos nos concentrar na obtenção das perdas locais. O grande número de singularidade do projeto, devido a válvulas, reduções, mudanças de direção e junções, tornam as perdas distribuídas desprezíveis comparativamente as singulares.

Utilizando o método dos comprimentos equivalentes de singularidades, que é o comprimento fictício de uma tubulação de seção constante de mesmo diâmetro, que produza uma perda distribuída igual à perda singular da singularidade (BRUNETTI, 2008).

$$h_p = f (L_t / D_H) (v_e^2 / 2 g) \quad (2.22)$$

Onde:

h_p = Perdas na tubulação [m];

f = Função do número de Reynolds do escoamento e da rugosidade relativa do material do duto.

L_t = Comprimento total, soma do comprimento equivalente de singularidade e do comprimento real da tubulação $L_t = L_{eq} + L$ [m];

D_H = Diâmetro da tubulação [m];

g = Gravidade [m/s²];

A velocidade v_e do escoamento, pode ser dada por:

$$v_e = (Q / A_{tb}) \quad (2.23)$$

Sendo Q a vazão e A_{tb} a área da seção transversal do tubo. O fator de atrito f , pode ser encontrado usando o número de Reynolds e a rugosidade do material da tubulação de acordo com o diagrama de Moody-Rouse a seguir.

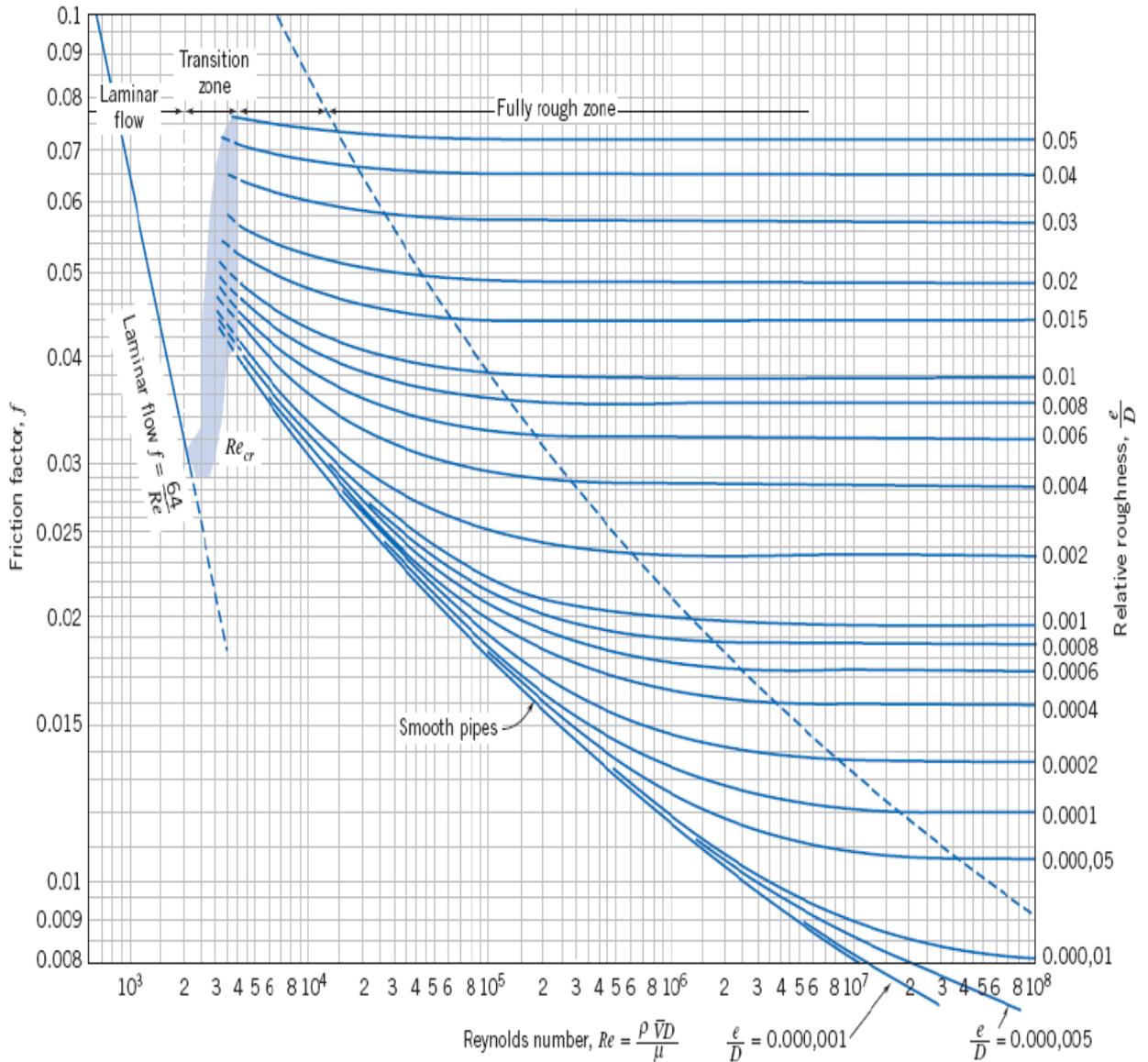


Figura 7 – Diagrama de Moody-Rouse, e fator de atrito de Darcy
Fonte: Fox (2006)

O valor de rugosidade de uma tubulação de plástico, segundo White, pode ser aproximado como $\epsilon = 0,0015$ mm. Temos as seguintes relações:

$$Re = (v_e D_H) / \nu \quad (2.24)$$

$$\varepsilon / D_H \quad (2.25)$$

A viscosidade cinemática pode ser dada como $\nu = 1,005 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, a uma temperatura de 20°C da água.

Portanto a altura manométrica total pode ser facilmente definida como:

$$H = h_{\text{geo}} + h_p \quad (2.26)$$

Onde h_{geo} é a altura manométrica geométrica da instalação, e h_p o valor das perdas do escoamento pela tubulação.

3.4 COLETOR SOLAR

A utilização da energia solar para promover o aquecimento de piscinas é bastante viável térmica e economicamente, uma vez que o gradiente de temperatura necessário para esse fim é muito inferior as aquecedores para banho, possibilitando assim a utilização de materiais de baixo custo, como o Polietileno, PVC, Polipropileno etc.

A temperatura ideal para banho em piscinas, varia entre 30 a 32°C, sendo assim não é necessário o uso de coletores solares muito sofisticados para a obtenção desse valor, abrindo a possibilidade de uso de aquecedores alternativos, constituídos muitas vezes de materiais recicláveis e de baixo custo. O gradiente de temperatura de um coletor solar varia entre 7 a 9°C, geralmente, não é necessário a utilização de coberturas transparentes, para proporcionar o efeito estufa, devido ao baixo gradiente de temperatura.

Em regiões de temperaturas mais baixas, a utilização de uma manta térmica para cobrir a piscina durante o período sem uso, pode complementar a ação dos coletores solar. Esta manta pode ser constituída de um plástico transparente, amenizando a perda de calor da piscina para o ambiente, principalmente durante a noite. Do mesmo modo, em dias muito quentes, ou regiões de muito calor, quando a piscina apresenta temperaturas elevadas provocando desconforto, pode-se trabalhar com os coletores solares no período da noite, resfriando a água da piscina, transferindo seu calor para o ambiente.

O dimensionamento do coletor solar depende das condições climáticas da região onde será instalado. Para climas temperados, se sugere considerar uma superfície de coletores equivalente à 60% da área da piscina (GONÇALVEZ, 2010).

Mangueiras de polietileno dispostas em espirais, vem sendo bastante utilizadas para coletar água para aquecimento. Seu baixo custo, facilidade de construção e alto rendimento fez com que optemos para seu uso neste projeto.



Figura 8 – Coletores solares de mangueira de polietileno dispostos em espirais. Fonte: Gonçalves 2010.

Ao se escolher o uso de coletores solares de plástico, deve-se levar em conta a degradação térmica do material sob a radiação do sol. Embora o polietileno seja bastante resistente ao calor e a ação de raios ultra violeta, sua degradação é mais crítica para níveis de temperatura acima de 250°C, embora a degradação térmica se inicie para temperaturas acima de 60°C, alcançando limite crítico para temperaturas acima de 75°C, onde começa o seu processo de deflexão (YAO, 2001). Um meio de amenizar esta degradação pode ser feito pela utilização de estabilizadores e aditivos durante o processo de manufatura dos tubos.

O sistema do coletor solar pode ser considerado como um trocador de calor, suas perdas térmicas e eficiência podem ser encontradas a partir do coeficiente global de perdas, pelo método da perda térmica (DUFFIE & BECKMAN, 1991, INCROPERA,

2008). Este método consiste na determinação do coeficiente global de perda térmica U_{loss} , através da potência absorvida pelo coletor P_{abs} , e a potência transferida ao fluido de trabalho P_w , onde α_p é a absorvidade do coletor, I a radiação solar global, A_c a área do coletor exposta a radiação, m a vazão mássica em kg/s, c_p o calor específico do fluido, ΔT é a diferença de temperatura de entrada e saída do fluido no sistema, T_m a temperatura média do coletor e T_∞ a temperatura ambiente, assim temos:

$$P_{\text{abs}} = \alpha_p I A_c \quad (2.27)$$

$$P_w = m c_p \Delta T \quad (2.28)$$

$$P_p = P_{\text{abs}} - P_w \quad (2.29)$$

$$U_{\text{loss}} = P_p / (A_c (T_m - T_\infty)) \quad (2.30)$$

O rendimento térmico do coletor pode ser calculado por:

$$\eta_c = P_w / (A_c I) \quad (2.31)$$

Os coletores solares podem ser fixados em nível do solo, telhado e laje, com uma inclinação especificada ou sem nenhuma inclinação. A instalação a uma distância maior em relação a piscina não acarreta problemas, desde que a tubulação seja bem feita. A posição ideal é a dos coletores direcionados ao norte geográfico, devido ao maior período diário de insolação sobre os coletores.

4 DIMENSIONAMENTO

4.1 TURBINA EÓLICA

Considerando um tonel de plástico de 200 litros, de dimensões $h = 0,9$ m, $d = 0,6$ m. Pela equação (2.6) podemos relacionar sua configuração para a distância do meio dos toneis s . Sendo assim, considerando $\beta = 0,242$, o melhor valor de distância corresponde a $s = 0,145$ m.

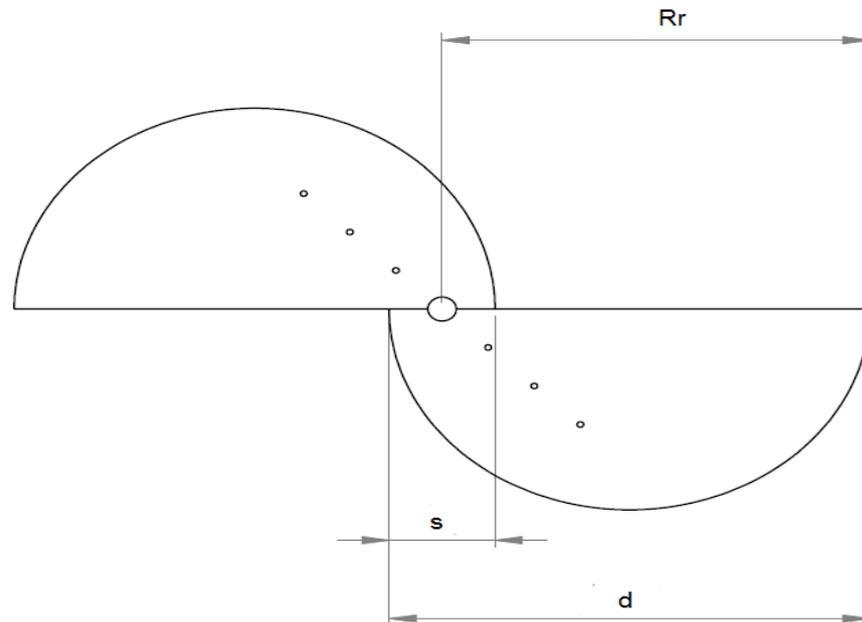


Figura 9 – Esquema de montagem rotor savonius
Fonte: Autoria própria

Considerando $C_p = 0,2$, a potência da turbina pode ser obtida pela equação (2.2), onde a área A variada pelo vento pode ser determinada por:

$$A = 2 R_r h \quad (3.1)$$

Em condições normais de ar seco, $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ e considerando a velocidade do vento de $5,1 \text{ m/s}$, a potência extraída pela turbina, para um estágio é $P_{\text{ext}} = 15,43 \text{ W}$.

Admitindo que o rotor possua velocidade tangencial menor que a velocidade do vento, a partir da figura - 3, temos um valor de $0,45$ para λ , assim podemos calcular a velocidade angular deste rotor (GEROTO, 2011):

$$f_t = (\lambda V) / (2 \pi R_r) \quad (3.2)$$

$$\omega_t = f 2 \pi \quad (3.3)$$

Onde f_t é a frequência angular em Hz. Assim, a velocidade angular da turbina é $\omega_t = 4,35$ rad/s. Portanto da equação (2.3) o torque da turbina é $T_t = 3,55$ N.m.

A tabela a seguir, representa valores de potência e torque para variadas velocidades de vento para a turbina com um e dois estágios.

Tabela 1 – Valores de potência e torque da turbina para diferentes velocidades de vento

Número de Tonéis	1		2	
	P_{ext} (W)	T_t (Nm)	P_{ext} (W)	T_t (Nm)
V (m/s)				
2	0,93	0,54	1,86	1,09
5.1	15,43	3,55	30,85	7,09
9	84,77	11,04	169,55	22,08
12	200,95	19,26	401,89	39,25
15	392,48	30,66	784,95	61,33

Fonte: Autoria Própria

4.2 ESTRUTURA DA TURBINA

A estrutura para suporte da turbina, será tipo H, constituída de tubos de Metalon de 40x40x4 mm, de acordo com a figura - 10. Metalon é a denominação para tubos de aço carbono, com costura, podendo ser retangular ou quadrado. Sua aplicação varia desde estruturas leves até situações extremas, como o setor de indústria química. Este material se enquadra na norma NBR 8261, possuindo um limite de escoamento de até 345 Mpa. O eixo da turbina, é apoiado por três rolamentos, um em cada barra horizontal e outro ao nível do solo, servindo como base para o eixo. É recomendável o uso de rolamentos que suporte cargas axiais e radiais, devido ao peso da turbina eólica e a força que o vento aplica sobre ela.

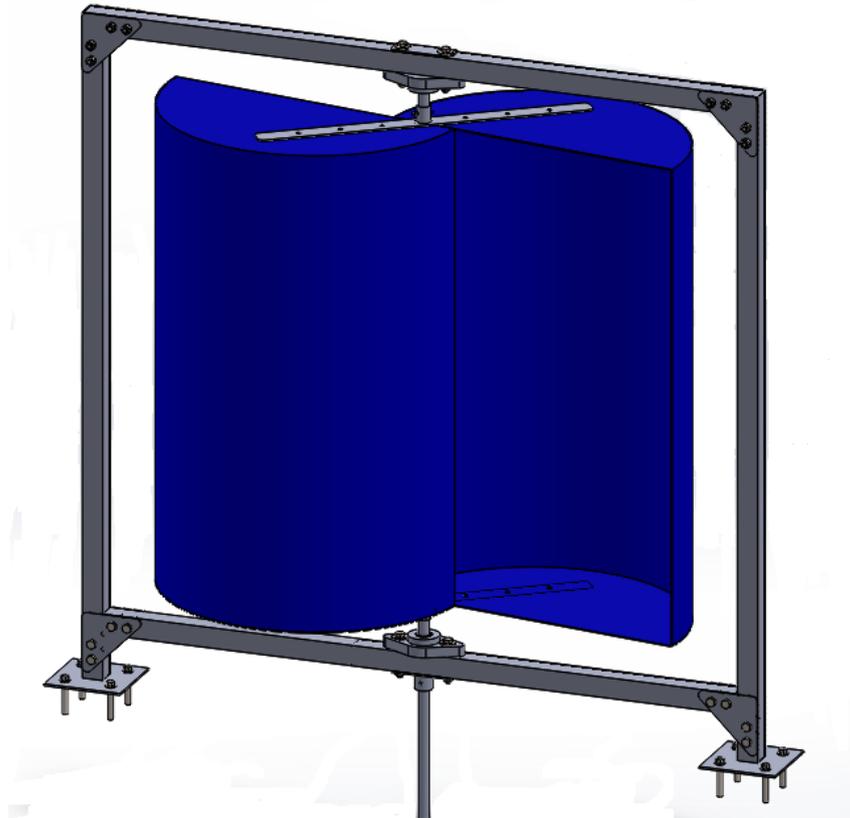


Figura 10 – Estrutura do rotor de savonius
Fonte: Autoria própria

Para fins do projeto, foi estabelecido uma velocidade máxima que o vento pode atingir na região de construção de 42 m/s. Portando, da equação (2.5) podemos obter a maior força de arrasto que o vento vai exercer sobre a turbina $F_D = 2,36$ kN.

4.3 TRANSMISSÃO

Para facilitar a montagem e baixar custos, o primeiro estágio de transmissão pode ser feito utilizando peças de bicicletas. A utilização da catraca e coroa da bicicleta como roda dentada, possibilita uma enorme facilidade de obtenção destes componentes de transmissão, sem contar o baixo custo. Para os cálculos será utilizada uma coroa com 42 dentes, $Z_m = 42$, e uma catraca com 15 dentes, $Z_t = 15$. Da equação (2.8) o diâmetro primitivo da roda da turbina é 61,08 mm e da manivela 169,945 mm.

Porém, é preciso levar em conta o espaço que a corrente ocupa na roda dentada. Este espaçamento impossibilita que a instalação do dispositivo de manivela

seja coincidente com o diâmetro primitivo do elemento de propulsão. Assim, o raio da manivela R será 70 mm.

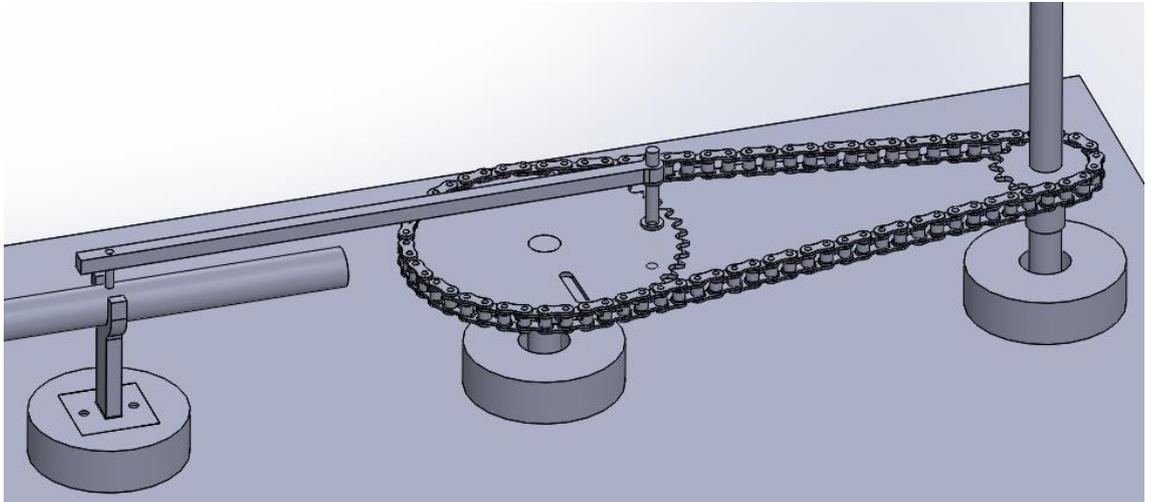


Figura 11 – Esquema transmissão
Fonte: Autoria própria

Será utilizada uma corrente de bicicleta com passo de 12,7 mm. Uma transmissão curta onde a distância entre centros das rodas dividido pelo passo é igual a 25, garante 80 elos para esta corrente, com uma distância entre centros de 0,322 m, sendo o comprimento total da corrente de 1,016 m (SHIGLEY, 2005).

Aplicando os raios $R_m = 0,0850$ m e $R_t = 0,0305$ m na equação (2.7), é encontrada uma relação de transmissão igual a $i = 2,8$. Como o torque da turbina é 3,55 Nm, e utilizando um rendimento de transmissão por corrente n_c de 0,98 o torque na manivela será $T_m = 9,74$ Nm.

Para o comprimento L da biela, pode ser considerada a seguinte relação:

$$R / L = 0,2 \quad (3.4)$$

Quanto menor for a circunferência que o centro de massa do sistema percorrer, em relação ao tamanho da biela, menos potência a turbina gastará para mover o conjunto, melhorando o rendimento. Então, quanto menor esta relação melhor.

A potência que a manivela transmite para o pistão da bomba, é dada pela equação (2.16), onde a velocidade angular da manivela ω_m é 1,55 rad/s, assim $P_m = 15,097$ W.

4.4 BOMBEAMENTO

Será construída uma bomba alternativa de pistão de simples efeito. Sua fabricação pode ser feita com tubos de PVC, metais não corrosivos ou outros materiais. A facilidade de aquisição e baixo custo, levaram a escolha de tubos soldáveis de PVC como principal matéria-prima para a bomba hidráulica.

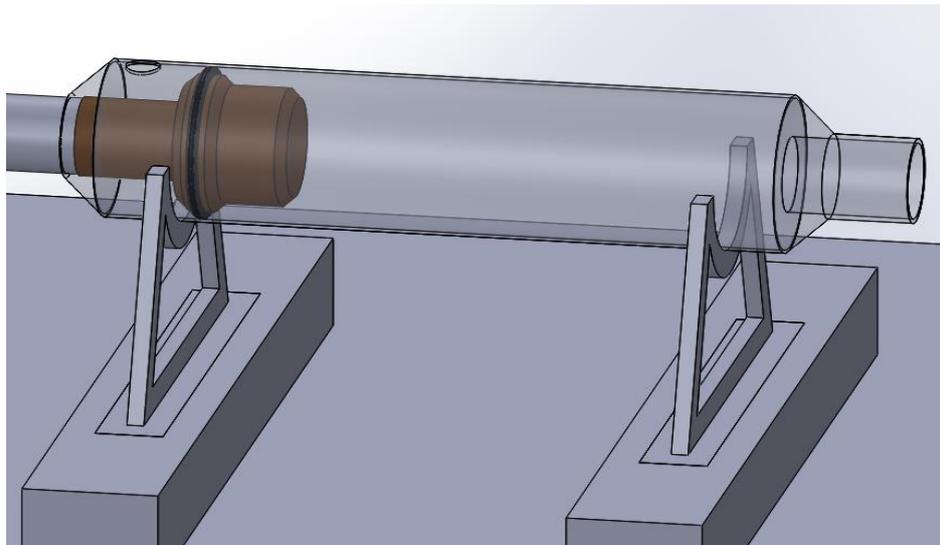


Figura 12 – Esquema bomba hidráulica
Fonte: Autoria própria

O cilindro onde o êmbolo atua, será feito com um tubo de 50 mm de diâmetro por 200 mm de comprimento e com duas buchas de redução longas de 50x25 mm, a ponta do êmbolo pode ser feita com buchas de redução e cap de PVC, um anel de borracha pode ser utilizado para vedação.

As duas válvulas de retenção que são fundamentais para o funcionamento da bomba, devem ser instaladas próximas ao cilindro, uma na tubulação de sucção e outra na tubulação de recalque, tomando a devida atenção para o sentido de fluxo das válvulas. Para reduzir ainda mais o custo, as válvulas podem ser feitas com buchas de redução e bolinhas de gude.

Como a rotação da manivela é 14,80 rpm, da equação (2.19) é possível obter a vazão mássica teórica da bomba de $6,78 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ ou 0,0678 litros por segundo. Adotando um rendimento volumétrico de 0,92, a vazão real recalçada Q é $6,24 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$.

A piscina onde o sistema será acoplado, possui um desnível de três metros até o local de instalação dos coletores solares, assim a $H_{geo} = 3$ m. Uma tubulação liga a água da piscina a um pequeno reservatório próximo a bomba, reduzindo as perdas equivalentes. A tabela a seguir mostra os componentes da tubulação de sucção e recalque e seus devidos comprimentos equivalentes.

Tabela 2 – Comprimentos equivalentes

Descrição	Quantidade	Comprimento equivalente (m)
Válvula pé de crivo 1"	1	7,3
Cotovelo 1" e 90°	2	0,94
Tê de entrada e saída de 1"	1	1,37
Válvula de retenção	2	2,1
Comprimento equivalente total L_{eq} (m)		14,75

Fonte: Adaptado de Brunetti (2008)

Assim, o comprimento L_{eq} é igual a 14,75 metros, como o comprimento da tubulação é de 4 metros, o comprimento total L_t é 18,75 m.

Como o diâmetro da tubulação de sucção e recalque é $D_H = 25$ mm, sua área transversal é $A_{tb} = 4,91 \cdot 10^{-4}$ m². Podemos encontrar a velocidade de escoamento do fluido com auxílio da equação (2.23), $V_e = 0,127$ m/s. Utilizando estes valores, o número de Reynolds é $Re = 3,159 \cdot 10^3$, representando um escoamento em regime de transição. A relação entre a rugosidade da tubulação de PVC e seu diâmetro (2.25), equivale a $6 \cdot 10^{-5}$, assim do diagrama de Moody-Rouse obtemos $f = 0,045$. Em seguida, pela equação (2.22) encontramos a perda de carga por singularidade $H_p = 0,03$ m. Como o comprimento da tubulação é pequeno, sua perda de carga apresenta um valor muito baixo, podendo até ser desconsiderada.

Portanto, a altura manométrica é $H = 3,03$ m, assim podemos calcular a potência útil de bombeamento, admitindo o peso específico da água a 20° de 9790,4 N/m³, da equação (2.21) temos $P_u = 1,85$ W.

Pela equação (2.17), a eficiência de bombeamento é $n_b = 0,12$, esta eficiência reflete o quanto da potência mecânica fornecida pela manivela para a bomba é aproveitada para o transporte do fluido.

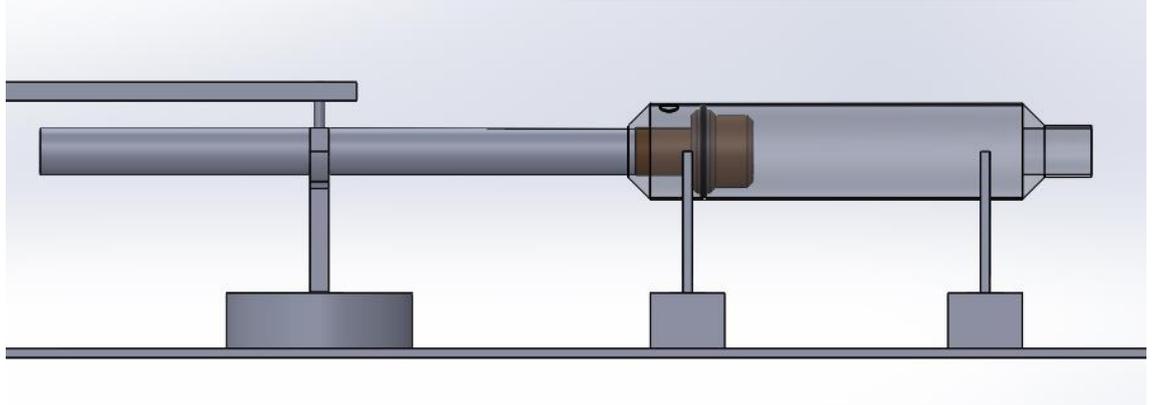


Figura 12 – Representação do conjunto pistão, êmbolo e cilindro da bomba
Fonte: Autoria própria

A tabela a seguir apresenta a quantidade de litros de água que é bombeado por hora de acordo com a velocidade do vento.

Tabela 3 – Quantidade de litros de água bombeada por hora

Velocidade do Vento (m/s)	Rotação da manivela (RPM)	Litros de água por hora
3	8,73	132,47
5,1	14,80	225
8	23,28	353,25
10	29,09	441,41

Fonte: Autoria própria

4.5 COLETOR SOLAR

A utilização de mangueiras de polietileno como coletor solar já vem sendo utilizada em grande escala, tanto para uso doméstico ou comercial. Sua cor preta permite uma grande absorção da radiação solar, e sua flexibilidade possibilita vários tipos de modelagem, sendo o arranjo em espiral o mais compacto e fácil de se operar.

A piscina que deverá ser aquecida, possui uma área superficial de 12 m², como se trata de uma cidade localizada na região sul do país, a área superficial do coletor deverá ter 60% da superfície da piscina, sendo 7,2 m².

Será utilizada uma mangueira preta de polietileno, comumente aplicada em sistemas de irrigação, de bitola de meia polegada e diâmetro nominal de 20 mm. A disposição em espiral pode ser montada sobre uma placa redonda de madeira,

pintada de preto, isso facilita o manuseio e a absorção do calor. Será construído espirais com aproximadamente 1,5 metros de diâmetro externo e 0,44 metros de diâmetro interno, este arranjo possibilita 31,5 voltas da mangueira de forma concêntrica e plana.

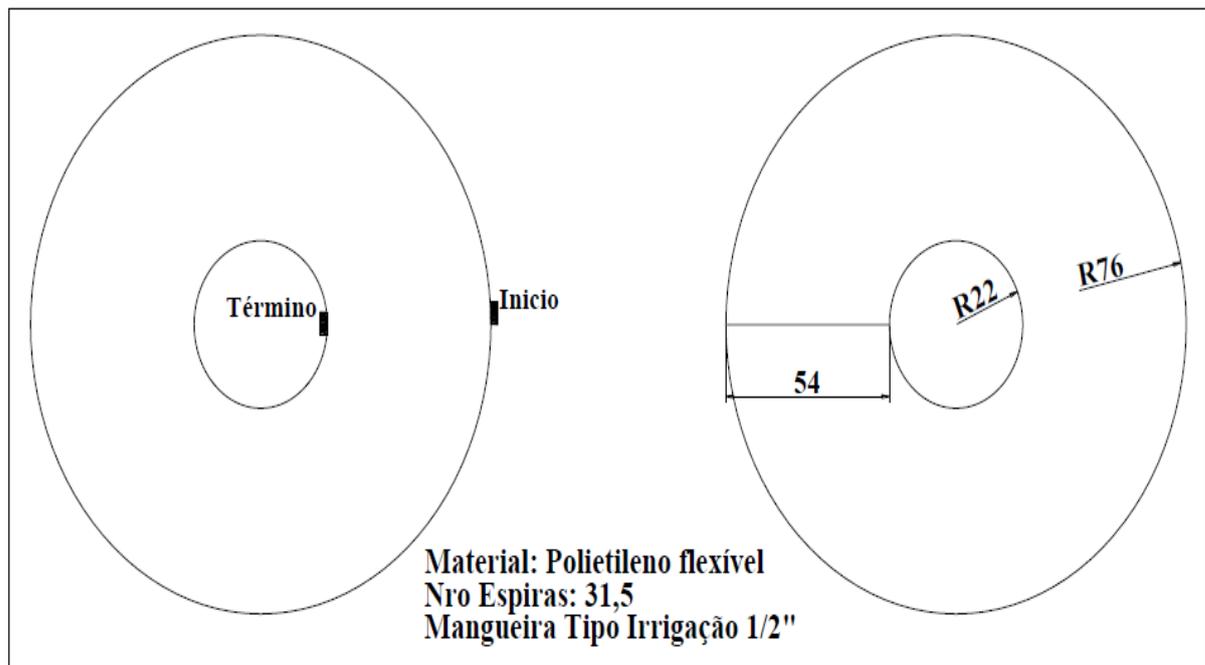


Figura 12 – Modelo para montagem coletor solar
Fonte: Gonçalves (2010)

Este sistema possibilita uma área superficial de 1,66 m², logo são necessários cinco módulos espirais para suprir a área desejada, entretanto com a utilização de uma manta térmica, podemos reduzir o número de módulos de espirais para quatro, economizando material, espaço físico e obtendo valores praticamente idênticos. O comprimento da mangueira utilizada para formar cada conjunto de espirais pode ser calculado pelo perímetro do círculo, somando seus comprimentos acumulados com a quantidade de voltas da espiral. Sendo assim, foi calculado que cada espira necessita de 100 metros de mangueira, resultando em um total de 400 metros de mangueira flexível de polietileno para a composição dos coletores solares. O conjunto de módulos de espirais devem ser colocados em série, com duas válvulas anti-vácuo, uma na entrada da tubulação, e outra na saída da água aquecida.

A inclinação do coletor solar varia com a sua localização geográfica, o ideal é colocá-lo perpendicular à altura solar média do inverno ao meio dia, ou seja a latitude do local mais 15° (KRAUSE, 2005). Como Cornélio Procópio apresenta uma latitude

de 23°, a inclinação do coletor deverá ser de aproximadamente 35°, sempre direcionado para o norte geográfico.

No estudo realizado por Gonçalves em 2010, ficou comprovado uma eficiência de 0,53 para o coletor solar de polietileno disposto em espirais sem cobertura, assim podemos utilizar esse rendimento para estipular a temperatura que a água aquecida sai do coletor. Considerando o calor específico da água a 18°C igual a $c_p = 4,184$ kJ/(kg.K), área superficial do coletor de $A_c = 6,64$ m², vazão mássica $m = 0,0624$ kg/s, absorvidade da mangueira preta de $\alpha_p = 0,9$ e um índice de radiação solar global de $I = 510$ kW/m², temos da equação (2.31) $\Delta T = 6,87^\circ\text{C}$, a potência absorvida pelo coletor de $P_{\text{abs}} = 3047,76$ W, a potência transferida ao fluido de trabalho de $P_w = 1793,63$ W são encontradas pelas equações (2.27 e 2.28) e o coeficiente global de perda térmica, pode ser encontrado pela equação (2.30) considerando uma temperatura da superfície do coletor de $T_m = 35^\circ\text{C}$ e uma temperatura ambiente de $T_\infty = 28^\circ\text{C}$, $U_{\text{loss}} = 26,98$ W/(m²K). Este valor do coeficiente global de perda térmica está acima do limite considerado para o uso em banhos, porém para o uso de aquecimento de piscina esse nível de perda é considerável, uma vez que não existe nenhuma cobertura transparente sobre o coletor, o que resulta em uma maior troca térmica com a ar circulante.

5 RESULTADOS OBTIDOS

Com todos componentes do sistema devidamente dimensionados, será feito o levantamento dos materiais necessários para a construção, a tabela a seguir demonstra os resultados obtidos para uma velocidade média do vento de 5,1 m/s.

Tabela 4 – Resultados obtidos para o sistema de aquecimento

(Continua)

	Potência (W)	Torque (Nm)	Rotação (RPM)	Rendimento
Turbina Eólica	15,43	3,55	41,54	20%
	Potência (W)	Torque (Nm)	Rotação (RPM)	98%
Manivela	15,09	9,74	14,80	

Bomba Hidráulica	Potência útil (W)	Vazão (m ³ /s)	Altura manométrica (m)	12%
	1,85	6,24.10 ⁻⁵	3,03	
Coletor Solar	Potência absorvida pelo coletor (W)	Potência transferida ao fluido (W)	Coefficiente global de perda térmica (W/(m ² K))	53%
	3047,76	1793,63	27	

Fonte: Autoria própria

O sistema de movimentação e aquecimento de água para piscina mostrou resultados promissores, para a velocidade de vento de 5,1 m/s, sendo capaz de bombear cerca de 225 litros de água por hora, a uma altura de 3,03 metros, tendo uma capacidade de aumentar a temperatura da água em aproximadamente 7°C, o que equivale a 1575 kcal/h, tudo isso sem utilizar nenhum meio convencional de energia elétrica ou fóssil, ou seja, sem nenhum gasto financeiro para manter o funcionamento do sistema.

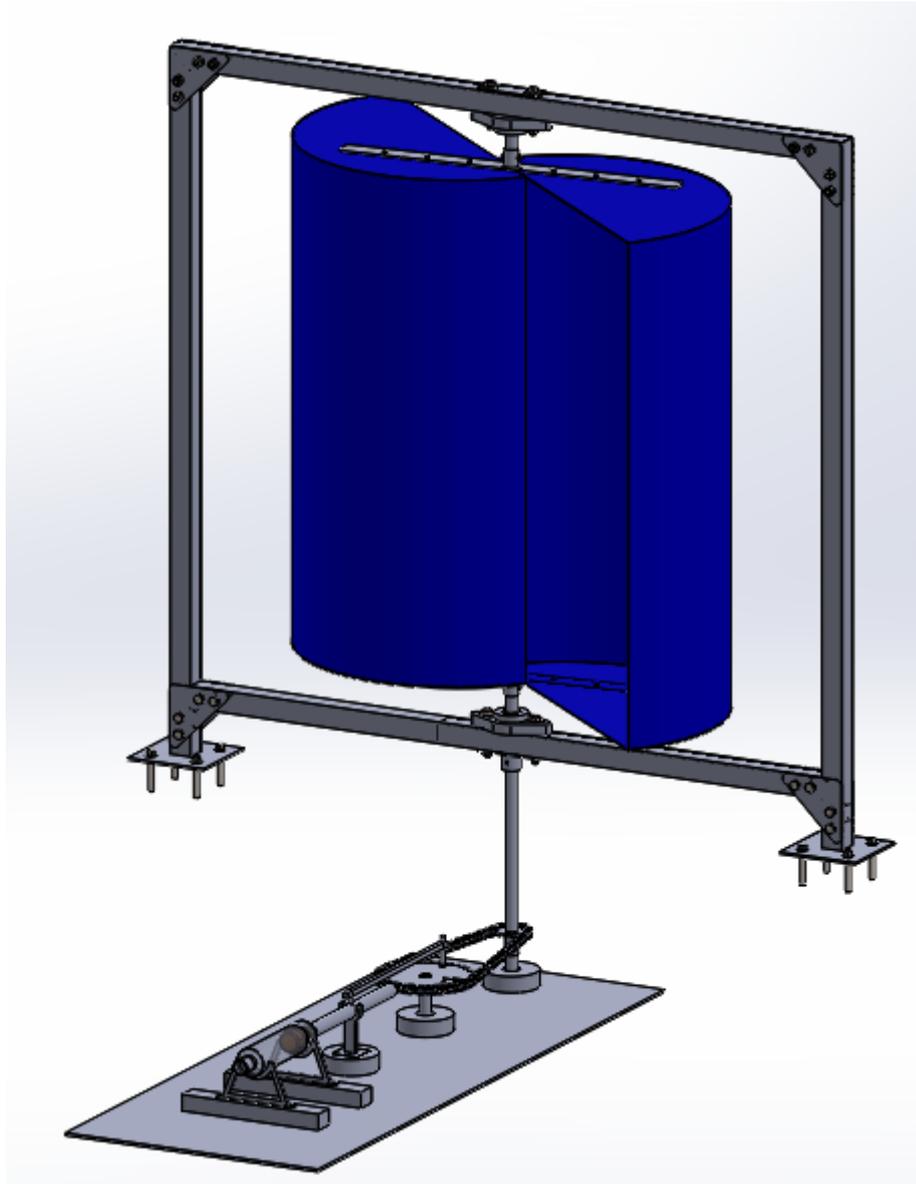


Figura 13 – Conjunto turbina eólica, transmissão e bomba
Fonte: Autoria própria

As tabelas a seguir, apresentam as listas de componentes para a construção do sistema.

Tabela 5 - Turbina eólica e estrutura

(Continua)

Componente	Quantidade	Preço por unidade (R\$)
Galão de plástico de 200 litros	1	70,00
Barra de Metalon 40x40x4 – 6 metros	1	69,90

Eixo retificado de 20 mm de diâmetro e 2,5 m de comprimento	1	75,00
Mancal UFCL com rolamento para eixo de 20 mm	3	30,00
Parafuso sextavado M10x80 mm	28	1,50
Parafuso sextavado M8x30 mm	12	2,00
Parafuso sextavado M5	3	2,00
Total:		376,90

Fonte: Autoria própria

Tabela 6 - Transmissão

Componente	Quantidade	Preço por unidade (R\$)
Catraca de bicicleta de 15 dentes	1	30,00
Coroa de bicicleta de 42 dentes	1	50,00
Corrente bicicleta passo 12,7 mm	1	30,00
Tubo de alumino de 25 mm diâmetro – 0,5 metro	1	10,00
Total:		120,00

Fonte: Autoria própria

Tabela 7 - Bomba hidráulica e tubulação

(Continua)

Componente	Quantidade	Preço por unidade (R\$)
Válvula de retenção 25 mm	2	26,90
Válvula de pé com crivo PVC 25 mm	1	24,90
Bucha de redução PVC 50x25 mm	2	2,09
Cotovelo PVC 25 e 90°	2	2,16
Tê 90° de PVC entrada e saída de 25 mm	2	1,01
Cano PVC 25 mm – 3 metros	2	6,29
Cano PVC 50 mm – 1 metro	1	7,00
Cap PVC 25 mm	2	0,90

Cap PVC 32 mm	2	1,90
Anel de vedação borracha – 40 mm	1	0,90
Bucha de redução PVC 32x25 mm	2	1,05
Total:		117,40

Fonte: Autoria própria

Tabela 8 - Coletor solar

Componente	Quantidade	Preço por unidade (R\$)
Válvula anti-vácuo ½"	2	3,20
Tubos flexíveis polietileno ½" – 100 m	4	90,00
Arame para fixação das aspirais – 25 m	1	4,00
Base de madeirite	4	25,00
Total:		470,40

Fonte: Autoria própria

Tabela 9 - Mão-de-obra

Componente	Quantidade	Preço por unidade (R\$)
Soldagem e Usinagem	-	250,00
Total:		250,00

Fonte: Autoria própria

O custo total para a construção do sistema eólico de movimentação e aquecimento de água para piscina - SEMA, gira em torno de 1334,7 reais, este valor pode ainda ser reduzido com o aproveitamento de materiais já utilizados, muitas vezes em bom estado, disponíveis em ferros velhos ou lojas de sucatas, como o caso do galão de 200 litros, catraca, coroa e corrente de bicicleta entre outros componentes.

6 COMPARAÇÃO COM OUTROS SISTEMAS CONVECIONAIS

Os sistemas mais comuns de aquecimento de piscina são aquecedores solares, a gás, diesel, lenha, elétrico e bombas de calor. Todos eles possuem um alto custo de aquisição e um gasto mensal para manter seu funcionamento, seja de energia elétrica ou outros combustíveis como gás e óleo diesel. Além do elevado valor de investimento e operação, alguns destes sistemas emitem poluentes para o meio ambiente, como no caso dos aquecedores a lenha, gás e a óleo diesel, dependendo de fontes de combustíveis fósseis e madeira, que estão cada vez mais escassas e caras.

Ao se optar pelo aquecimento solar convencional, você ganha uma fonte inesgotável de energia que é o sol, mas ainda existe o gasto inicial de aquisição das placas solares, que apresentam altos valores, e o custo mensal de energia elétrica para o funcionamento da motobomba que move a água para os coletores.

Utilizando o SEMA, somente é necessário um investimento inicial para a aquisição, este custo é pequeno comparado aos sistemas comuns. Seu funcionamento e eficiência só depende de fontes renováveis de energia, sem qualquer custo para a sua operação.

Em qualquer tipo de sistema de aquecimento para piscina, é essencial o uso de uma manta térmica para cobrir a piscina em períodos de não utilização, principalmente durante a noite, quando acontece a maior parte da queda da temperatura. Esta capa, a grosso modo, é um plástico cheio de bolhas, com tratamento contra raios ultravioleta e aditivos antioxidantes, o simples fato de manter essa manta sobre a superfície da piscina gera uma economia de até 30% no consumo do combustível do aquecedor, devido à redução de perdas térmicas da piscina com o meio ambiente, mantendo a temperatura conservada por um período maior de tempo, além de proteger a piscina de impurezas que caem sobre a água, facilitando a limpeza.

6.1 BOMBA DE CALOR

O sistema de aquecimento de piscina por bomba de calor ou trocador de calor possui um funcionamento simples, o equipamento retira calor do ambiente, seja este calor produzido por outros equipamentos elétricos em ambientes fechados, ou o calor

do sol em meios externos, e o transfere para a água da piscina. A bomba de calor não necessita de tanque ou qualquer outro recipiente para a água e não produz nenhum tipo de gás prejudicial ou resíduos. O sistema possui um controlador de temperatura digital integrado que permite que o usuário estabeleça a temperatura da água de acordo com a sua necessidade, e a sua eficiência é relativamente alta, para cada unidade de energia elétrica consumida, são trocadas de quatro a seis unidades de energia térmica.

Entretanto o custo para aquisição do produto gira em torno de 6.500,00 reais para piscinas de pequeno porte, podendo ultrapassar a quantia de 12.000,00 reais para piscinas maiores.

A piscina estuda no projeto possui um volume de 18 m³ de água, para aquece-la 7°C são necessárias 126.000 kcal, seria preciso uma bomba de calor com uma potência de 1500 W, que possui uma capacidade de aquecimento de 6187 kcal/h, seu custo estimado é de R\$ 6.000,00. Os fabricantes recomendam que o primeiro aquecimento deve durar de 24 a 60 horas, dependendo da temperatura desejada, e posteriormente é necessário um aquecimento diário de 5 a 8 horas para compensar as perdas térmicas que ocorrem durante a noite. Assim, utilizando esta bomba de calor, o primeiro aquecimento deve durar no mínimo 20 horas para se alcançar uma diferença de 7°C na temperatura da água da piscina. Como no estado do Paraná a COPEL estipula um valor de R\$ 0,49 para 1 kWh, o funcionamento da bomba de calor vai apresentar um acréscimo de R\$ 155,00 na conta mensal de energia elétrica.

6.2 AQUECEDOR A GÁS

Os aquecedores a gás funcionam basicamente como uma panela em um fogão, a água da piscina é bombeada para uma serpentina envolvida pelo fogo do gás, e retornam aquecida para a piscina. O sistema é bastante seguro, o dispositivo de segurança do aquecedor fecha o gás automaticamente caso a chama se apague e pode atingir temperaturas superiores a 50°C. Estes aquecedores podem trabalhar tanto com o gás liquefeito do petróleo (GLP), que é o gás utilizado em cozinhas e comercializados em recipientes cilíndricos, para utilizar este gás é necessário instalar uma central e mantê-la sempre abastecida, ou pode-se utilizar o gás natural que é mais leve que o ar e se dissipa-se rapidamente, seu rendimento é considerado o

mesmo do GLP. Para utilizar o gás natural é necessária uma rede de distribuição, com um fornecimento direto e interrupto. O aquecimento a gás garante uma piscina aquecida todos os dias do ano, independentemente da condição climática ou região do país, porém os gases da combustão são descarregados na atmosfera por meio de uma chaminé, prejudicando o meio ambiente.

Os sistemas de aquecimento a gás, geralmente são utilizados em grandes piscinas, devido a sua grande potência térmica, alguns modelos aquecem piscinas com uma área superficial de até 220 m², porém o gasto com gás é elevado.

Um aquecedor de passagem a gás com capacidade térmica de 20.000 kcal/h custa em média R\$ 3.250,00, este equipamento demoraria cerca de 6 horas e 15 minutos para aquecer a piscina estuda em 7°C, e aproximadamente 3 horas diárias para recuperar as perdas térmicas que a piscina sofre durante a noite. Seu consumo é de 1,6 kg/h para o gás GLP e 1,92 m³/h para o gás natural, são necessários 150 kg de gás por mês para manter a piscina aquecida, como um botijão de gás GLP de 13 kg custa em torno de R\$ 45,00, logo são necessários 12 botijões de gás por mês, que leva a um custo mensal de R\$ 540,00 somente com gás. O aquecedor a gás ainda necessita de manutenção periódica para a limpeza das serpentinas, devido a passagem direta de água tratada da piscina com elementos químicos, que pode causar desgastes.

6.3 AQUECEDOR POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Os aquecedores elétricos funcionam basicamente como um chuveiro, existe uma resistência de aço acoplada dentro do sistema de aquecimento, que aquece a água na sua passagem. Este sistema é de fácil instalação, silencioso e ocupa pouco espaço físico comparado aos outros aquecedores.

Este equipamento garante a piscina aquecida em qualquer época do ano, porém possui um alto consumo de energia elétrica. Para aquecer a piscina estudada, é necessário um aquecedor elétrico com uma potência de 8 kW, seu custo de aquisição é de R\$ 1.390,00 possuindo uma capacidade térmica de aquecimento de 6878 kcal/h, levando cerca de 18 horas para alcançar uma diferença de 7°C na temperatura da água da piscina, e posteriormente um aquecimento diário de 4 horas para compensar as perdas térmicas que ocorrem durante a noite, mantendo a

temperatura agradável. A utilização do aquecedor elétrico neste caso, leva um consumo mensal de 1072 kWh, que representa um aumento drástico de R\$ 525,28 na conta mensal de energia elétrica.

6.4 AQUECEDOR A ÓLEO DIESEL OU GÁS

Geralmente os aquecedores a óleo diesel podem operar também com gás, estes equipamentos podem funcionar por passagem, onde a água da piscina não entra em contato direto com o tanque do aquecedor, mas somente com os trocadores de calor com serpentinas de tubos de cobre, ou podem trabalhar por acumulação, onde a água da piscina entra em contato direto com o tanque do aquecedor. Estes sistemas possuem uma grande capacidade de aquecimento, possibilitando uma piscina aquecida durante todos os dias do ano, sua desvantagem é a necessidade de um estoque de óleo diesel para manter seu funcionamento, e o fato de existir uma parcela de emissão de gases poluentes para o meio ambiente.

Os aquecedores a diesel encontrados no mercado, possuem uma capacidade térmica mínima de 30.000 kcal/h, seu preço é em torno de R\$ 5.000,00 e seu consumo de 3 litros de óleo diesel por hora. Assim, seria necessárias aproximadamente 4 horas para se obter um ganho de 7°C na temperatura da piscina, e um aquecimento diário de 2 horas para manter a temperatura, sendo necessário cerca de 186 litros de óleo diesel por mês para se manter estas condições, levando em conta que o óleo diesel custa R\$ 2,40 em Cornélio Procópio, o funcionamento do aquecedor a diesel custara R\$ 446,40 por mês.

6.5 AQUECEDORES A LENHA

Os aquecedores a lenha funcionam basicamente através da queima da lenha disposta na fornalha, esses aquecedores podem ser de passagem ou de acumulação de água em tanques, possuindo grande capacidade de aquecimento. O equipamento é bastante robusto, ocupando um grande espaço para a sua instalação e armazenamento da lenha, que ainda pode gerar incômodos como a presença de insetos e animais que se escondem neste depósito de madeira, além do fato dos gases de combustão serem extraídos para a atmosfera, agravando ainda mais a

poluição por monóxido de carbono. Outra grande desvantagem do aquecedor a lenha, é seu abastecimento, sendo preciso ficar atento para seu reabastecimento todos os dias, muitas vezes é necessário cortar a madeira em pedaços acessíveis para a fornalha, dificultando ainda mais o processo.

O preço de um aquecedor a lenha de 30.000 kcal/h de capacidade térmica, gira em torno de R\$ 7.000,00, e o seu consumo é de 13 kg de madeira de eucalipto por hora. Assim, seria necessárias aproximadamente 4 horas para se obter um ganho de 7°C na temperatura da piscina, e um aquecimento diário de 2 horas para manter a temperatura. Nestas condições, é gasto 806 kg de lenha de eucalipto por mês para aquecer a piscina, 1 m³ de lenha seca de eucalipto pesa aproximadamente 600 kg e custa cerca de R\$ 60,00, ao se optar pela compra da lenha já picada e pronta para o uso, o preço é mais elevado, chegando a R\$ 0,50 por quilograma de eucalipto. Comprando a lenha por metro cúbico, o custo mensal para aquecer a piscina é de R\$ 120,00, ao escolher a lenha pronta para o uso, este valor pode chegar a R\$ 403,00. Portanto, ao se decidir pela compra de lenha por metro cúbico, existe uma economia considerável nas despesas, porém é necessário realizar o preparo da lenha, ocasionando um maior esforço e perda de tempo.

6.6 AQUECEDORES SOLARES CONVENCIONAIS

Os aquecedores solares convencionais funcionam com um princípio simples, uma motobomba elétrica move a água para os coletores, muitas vezes localizados no telhado da residência, a radiação solar esquenta a água que retorna para a piscina. Esses aquecedores, muitas vezes são vendidos com o kit completo, já vindo com os coletores solares, motobomba independente, sistema de controle de temperatura digital e distribuidor hidráulico.

Sua alta eficiência, disponibilidade de uso em praticamente todo o território brasileiro e baixo custo de funcionamento, tornaram esses aquecedores bastante populares. Sua capacidade térmica de aquecimento, varia com a condição climática da região onde está instalado. Na maioria das vezes, o sistema de aquecimento solar é utilizado em conjunto com aquecedores elétricos ou a gás, tendo como função principal repor as perdas térmicas que ocorrem durante a noite.

O preço do metro quadrado dos coletores solares convencionais custa cerca de R\$ 300,00 e o kit com motobomba, sistema hidráulico e controlador digital de temperatura sai por R\$ 2.400,00. Para se obter 6,4 m² de coletor solar é necessária uma quantia de R\$ 2.100,00. Assim, o custo total de aquisição deste sistema é de R\$ 4.500,00.

6.7 ANÁLISE DOS DADOS

Em todos os casos, é necessário uma bomba hidráulica de aproximadamente 1/3 de CV para movimentar a água da piscina para os aquecedores, muitas vezes a mesma bomba que já vem instalada no sistema de filtragem da piscina é utilizada para esta função, ou então é instalada uma bomba independente, somente para uso do aquecedor. Se a piscina não possui uma motobomba, a aquisição da mesma gira em torno de R\$ 450,00 e o seu consumo mensal de energia apresenta um aumento de até R\$ 50,00 na conta de luz.

Somando o custo de aquisição e funcionamento da bomba em todos os aquecedores, temos os seguintes resultados.

Tabela 10 – Preço de aquisição e gastos

Aquecedor	Custo de Aquisição (R\$)	Custo de funcionamento por mês (R\$)	Custo de funcionamento por 10 anos (R\$)
Bomba de Calor	6.450,00	155,00	18.600,00
A Gás	3.700,00	570,00	68.400,00
Elétrico	1.840,00	555,28	66.633,60
A Óleo Diesel	5.450,00	476,40	57.168,00
A Lenha	7.450,00	150,00 à 403,00	18.000,00 à 48.360,00
Solar Convencional	4.500,00	50,00	6.000,00
SEMA	1334,70	00,00	00,00

Fonte: Autoria própria

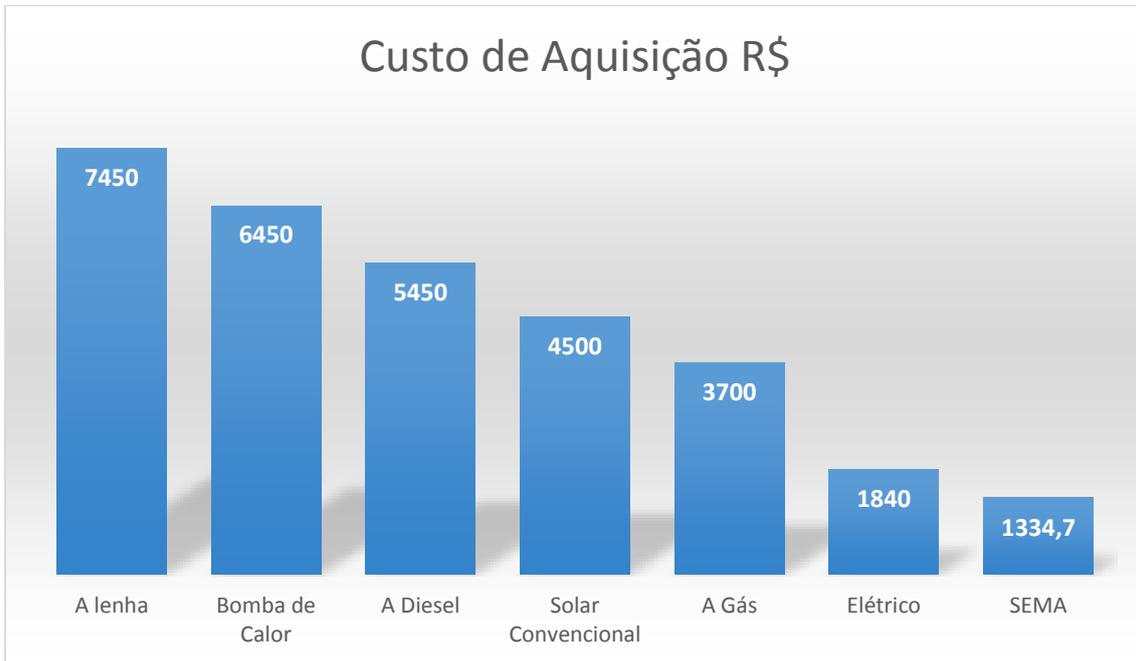


Gráfico 1 – Valor de aquisição dos aquecedores solares
Fonte: Autoria própria

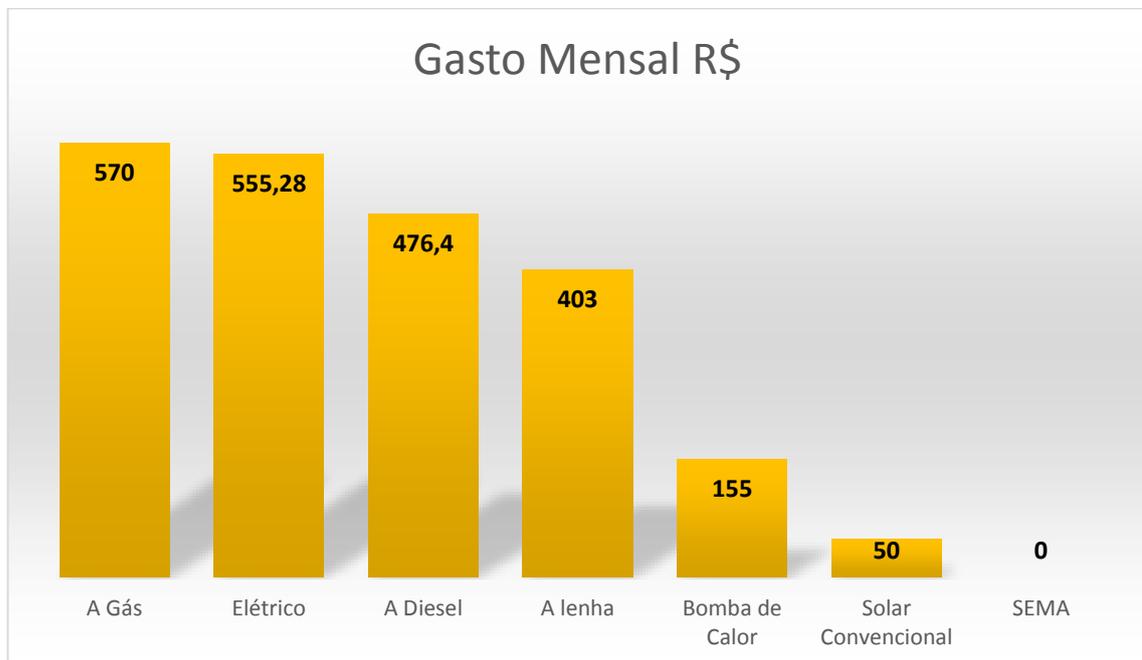


Gráfico 2 - Valor do custo dos aquecedores solares
Fonte: Autoria própria

Os aquecedores a lenha possuem o maior custo de aquisição e um alto gasto mensal em relação aos outros aquecedores, por estes altos valores e a necessidade

de armazenamento e manuseio de grande quantidade de madeira esses equipamentos estão em desuso, sendo inviável para a maioria dos casos.

Os aquecedores a gás e diesel, apresentam um alto valor de aquisição e operação, e como possuem uma grande capacidade térmica de aquecimento geralmente são utilizados para o aquecimento de grandes piscinas em academias e parques aquáticos.

O sistema de aquecimento por bomba de calor só perde em economia para os aquecedores solar, porém o seu custo de aquisição é elevado e sua capacidade de aquecimento é lenta comparado com os aquecedores a gás, diesel e lenha, não sendo muito efetivo em regiões que apresentam baixas temperaturas.

O aquecedor elétrico possui a vantagem de ser pequeno, silencioso e não produzir nenhum tipo de resíduo, porém o seu consumo de energia elétrica é muito alto em relação a sua capacidade de aquecimento.

Aquecedores solares convencionais possuem um alto custo de aquisição e uma capacidade de aquecimento térmica que depende da condição climática da região onde foi instalado, levando em média de 5 a 6 dias para o aumento de 7°C na temperatura da água da piscina. Seu gasto mensal geralmente é baixo, dependendo da potência da bomba elétrica que movimenta a água para o coletor solar.

O sistema eólico e movimentação e aquecimento de água para piscina, possui o menor custo de aquisição entre todos os aquecedores, não apresentando nenhum gasto para manter seu funcionamento, dependendo somente de energias renováveis. Estas características tornam esse sistema de aquecimento dependente da condição climática da região onde é instalado, sua eficiência é aumentada travando a turbina eólica no período da noite, onde as temperaturas caem, e reativando logo de manhã.

São necessários cerca de 7 dias de operação do sistema eólico para aquecer a piscina estuda em 7°C, seu funcionamento em praticamente toda parte do dia garante a recomposição das perdas térmicas que ocorrem durante a noite, obtendo um equilíbrio na temperatura da água da piscina com a temperatura do meio externo, sendo uma opção viável e efetiva para um aquecimento gratuito e sustentável.

7 CONCLUSÃO

O sistema eólico de movimentação de água se mostrou uma solução eficiente e viável para bombeamento, tendo a capacidade de deslocar cerca de cinco mil litros de água por dia a uma altura de recalque de três metros, somente com o uso da energia eólica. Esta capacidade de bombeamento, somada a utilização de novos materiais como o polietileno para o uso de coletores solares, proporcionou a criação de um sistema de aquecimento de piscina nunca registrado na bibliográfica atual. Seu funcionamento a partir de energias renováveis, garante uma elevação gratuita da temperatura da água da piscina, ao contrário de aquecedores convencionais, que podem atingir uma quantia de até 68 mil reais por dez anos de uso.

A utilização de materiais recicláveis e reconicionados para a fabricação do SEMA possibilitou um baixo custo de aquisição comparado aos aquecedores comuns, todos seus componentes são de fácil montagem e podem ser encontrados sem grande dificuldade.

A eficiência do SEMA é similar aos aquecedores solares convencionais, como a sua vazão de bombeamento depende da velocidade do vento, geralmente não é ultrapassado o valor de 500 litros por hora, dispensando assim a necessidade de grandes áreas de coletores solares, entretanto o aquecimento se torna mais lento, principalmente para grandes piscinas.

O sistema de movimentação e aquecimento de água para piscina é um meio barato e prático para a elevação da temperatura de pequenas e médias piscinas, ao trabalhar com duas fontes conjuntas de energias renováveis, fica evidente que nem sempre é possível garantir o funcionamento do sistema. Porém para aplicações em residências, sendo utilizado como sistema único de aquecimento, ou mesmo como um equipamento auxiliar de recomposição de perdas térmicas, trabalhando em conjunto com outros aquecedores convencionais, o SEMA pode proporcionar uma economia e um maior conforto considerável no ramo de aquecimento de piscinas.

7.1 SUGESTÕES PARA MELHORIA DO SEMA

1 – O aumento da relação da transmissão entre a turbina e a roda da manivela, possibilita o melhor funcionamento da turbina para velocidades menores de vento.

2 – Uma mola adequadamente dimensionada pode ser acoplada à haste da bomba, de maneira que ela seja deformada na fase de sucção e no recalque sua energia seja aproveitada para diminuir os esforços de bombeamento.

3 – A utilização de uma turbina eólica com dois estágios aumentaria consideravelmente a potência extraída do vento, possibilitando uma maior altura de elevação da água pela bomba.

4 – O uso de uma estrutura para a turbina que se desloque conforme a direção do vento, aumentaria o rendimento da turbina eólica, uma vez que a estrutura nunca ficaria obstruindo a passagem do vento.

5 – Utilizar e estudar aditivos aplicados no polietileno e seus efeitos para uma maior redução da degradação térmica e por raios UV.

6 – O uso de um tanque de armazenamento de água após o recalque, antes da entrada nos coletores solares, pode amenizar os esforços de bombeamento, sendo a água empurrada para os coletores somente com a força da gravidade.

REFERÊNCIAS

AKWA, João Vicente. “**Análise aerodinâmica de turbinas eólicas savonius empregando dinâmica dos fluidos Computacional**”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. UFRGS. Porto Alegre. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro. 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8261: Tubos de aço-carbono, formado a frio, com e sem solda, de seção circular, quadrada ou retangular para usos estruturais**. Rio de Janeiro. 2010.

BRASIL SOLAIR. **Potencial solar e eólico**. 2014. [Acesso em: 20 de maio de 2014]. Disponível em: <<http://www.brasilsolair.com.br/potencial-solar-e-eolico>>.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos fluidos**. 2. ed. rev. São Paulo, SP: Prentice-Hall, 2008. xiv, 431 p.

COPEL. **Atlas do potencial eólico do estado do paraná**. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. LACTEC. 53 p. Curitiba. 2007.

COSTA, Raimundo N. Almeida. **Viabilidades térmicas, econômica e de matérias de um sistema solar de aquecimento de água a baixos custos para fins residenciais**. Dissertação de mestrado em engenharia mecânica. UFRN. Natal. 2007.

DUFFIE, J.A., BECKMAN, W.A. **Solar Engineering of Thermal Processes**, II edition. John & Sons. New York. 1991.

FARRET, Felix A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. 2ª ed. Santa Maria. UFSM. 2010.

FOX, Robert W., MCDONALD, Alan T., PRITCHARD, Philip J. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2006. xiv, 798 p.

GEROTO, Gustavo H. R. **Estudo comparativo do desempenho de aeromotores de eixo vertical**. Revista SODEBRAS. Volume 6. Nº 71. UNESP. Guaratinguetá. 2011.

GOLÇALVES, Joel Nogueira. “**Análise da eficiência de aquecedor solar espiral com e sem efeito estufa para piscinas**”. Dissertação de mestrado em engenharia mecânica. UFRN. Natal. 2010.

HENN, Érico Antônio Lopes. **Máquinas de fluido**. 3ª ed. Santa Maria. UFSM. 2012.

INCROPERA, Frank P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2008. xix, 643 p.

KRAUSE, Cláudia Barroso. **Instalação de coletor solar. Discas para arquitetura**. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFRJ. Programa de pós-graduação em Arquitetura conforto ambiental e Eficiência energética. Rio de Janeiro. 2005.

MELCONIAN, Sarkis. **Elementos de máquinas**. 5. ed. rev., atual. e ampl. São Paulo: Érica, 2004. 360 p.

Menet, J. L. and Bourabaa, N. **Increase in the Savonius rotors efficiency via a parametric investigation**. ed: Ecole Nationale Supérieure D'Ingenieurs en Informatique Automatique Mecanique Énergetique Électronique de Valenciennes (ENSIAME).

Menet, J. L. **A double-step Savonius rotor for local production of electricity: a design study**. *Renewable Energy*, vol. 29, pp. 1843-1862, 2004.

NOGUEIRA, Cícero Urbanetto. “**Utilização de sistema solar e eólico no bombeamento de água para irrigação**”. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. UFSM. Santa Maria. 2009.

NORTON, Rob. **Cinemática e dinâmica dos mecanismos**. Porto Alegre: AMGH, 2010. 800 p.

ÔLO, Carlos David V. “**Projeto de uma turbina savonius com utilização de componentes em fim-de-vida**”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA. Lisboa. 2012.

PEREIRA, Enio Bueno. **Atlas brasileiro de energia solar**. São Jose dos Campos. INPE. 2006.

PINTO, Milton de Oliveira. **Fundamentos de energia eólica**. Rio de Janeiro, RJ: LTC. 2013.

SHIGLEY, Joseph Edward; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G. **Projeto de engenharia mecânica**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 960 p.

SIMÕES, José Francisco. “**Simulação dinâmica de um sistema eólico de bombeamento de água**”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. UNICAMP. Campinas. 1986.

STARKE, Allan Ricardo. “**Uma análise de sistemas de aquecimento de piscinas domésticas através de bombas de calor assistidas por energia solar**”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. UFSC. Florianópolis. 2013.

VEJA ON-LINE. **Tudo azul no mundo das piscinas**. 2004. [Acesso em: 14 de maio de 2014]. Disponível em: <http://veja.abril.com.br/040204/p_094.html>.

WHITE, Frank M. **Mecânica dos fluidos**. 6. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. xiii, 880 p.

YAO, Qiang.; WILKIE, Charles. A.. **Thermal Degradation of PVC in the Presence of Polystyrene**. Journal of Vinyl Additives Technology, Milwaukee 2001.