



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA -UniCEUB**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

**LEANDRO ROSA ALVES**

**TRANSFORMAÇÃO DA ENERGIA CINÉTICA DE UM FLUXO DE ÁGUA EM**  
**ENERGIA ELÉTRICA**

**Orientador: Thiago de Miranda Leão Toribio.**

Brasília  
Dezembro, 2010

**LEANDRO ROSA ALVES**

**TRANSFORMAÇÃO DA ENERGIA CINÉTICA DE UM FLUXO DE ÁGUA EM  
ENERGIA ELÉTRICA**

Trabalho apresentado ao Centro  
Universitário de Brasília  
(UniCEUB) como pré-requisito  
para a obtenção de Certificado de  
Conclusão de Curso de Engenharia  
de Computação.

Orientador: Thiago de Miranda

Leão Toribio

Brasília

Dezembro, 2010

**LEANDRO ROSA ALVES**

**TRANSFORMAÇÃO DA ENERGIA CINÉTICA DE UM FLUXO DE ÁGUA EM  
ENERGIA ELÉTRICA**

Trabalho apresentado ao Centro  
Universitário de Brasília  
(UniCEUB) como pré-requisito  
para a obtenção de Certificado de  
Conclusão de Curso de Engenharia  
de Computação.

Orientador: Thiago de Miranda

Leão Toribio

Este Trabalho foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheiro de Computação,  
e aprovado em sua forma final pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas -  
FATECS.

---

Prof. Abiezer Amarilia Fernandez  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Thiago de Miranda Leão Toribio, Mestre.  
Orientador

---

Prof. Antônio Barbosa Júnior, Especialista.  
Instituição UniCEUB

---

Prof. Luís Cláudio Lopes Araújo, Mestre.  
Instituição UniCEUB

Dedico este trabalho a minha família, amigos, namorada e ao professor orientador e amigo Thiago, pois todos sempre me apoiaram durante toda minha graduação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a meus pais, meu irmão, minha sobrinha, e toda minha família por todo incentivo e paciência ao longo dessa jornada acadêmica. Agradeço especialmente ao meu pai que foi um companheiro e ajudou em todo o planejamento e execução deste projeto.

Agradeço a minha namorada, Ana Carolina, que sempre esteve ao meu lado e ajudou em todos os momentos difíceis desse projeto e em toda a jornada acadêmica também.

Agradeço também aos meus colegas e amigos Lucas Camargo, Marcus Vinicius, Álvaro Santana, Maria Luiza, Robson Luís Caetano, Diego Delmondes, pois me ajudaram neste projeto final e durante toda a faculdade.

A todos os professores do curso de Engenharia de Computação que passaram com paciência e profissionalismo todo o conhecimento, principalmente aos professores Javier e Thiago Toribio que me supervisionaram e me orientaram sabiamente durante todo desenvolvimento deste projeto.

A todas as pessoas que auxiliaram para que esse projeto fosse concluído com sucesso e a todas pessoas que me auxiliaram durante a fase acadêmica.

Acima de tudo, a DEUS, por tudo.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	VIII
LISTA DE TABELAS .....	IX
RESUMO .....	X
ABSTRACT .....	XI
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	11
1.1 – Apresentação do Problema .....	12
1.2 – Objetivos.....	12
1.3 – Justificativa e Importância do Trabalho .....	12
1.4 – Escopo do Trabalho .....	12
1.5 – Resultados Esperados .....	13
1.6 – Estrutura do Trabalho .....	13
CAPÍTULO 2 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	14
2.1 – Aspectos internacionais .....	14
2.2 – Aspectos nacionais .....	14
2.2.1 – Crise de energia .....	16
2.3 – Energias alternativas.....	16
2.4 – Estado da arte.....	18
2.4.1 – Usinas hidroelétricas .....	18
2.4.2 – Usinas maremotrizes .....	19
CAPÍTULO 3 – BASES METODOLÓGICAS PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA .....	25
3.1 – Escoamento.....	25
3.1.1 – Aceleração para um fluido .....	25
3.1.2 – Escoamentos viscosos e não viscosos .....	26
3.1.3 – Escoamentos laminares e turbulentos .....	26
3.1.4 – Equação de Bernoulli.....	28
3.1.5 – Equação da quantidade de movimento aplicada a hélices .....	29
3.2 – Turbinas .....	29
3.2.1 – Aceleração rotacional.....	30
3.2.2 – Frequência angular.....	31
3.2.3 – Transmissão de movimento circular .....	31
3.2.2 – Turbinas hidráulicas.....	33
3.2.3 – Partes de uma turbina .....	36
3.2.4 – Tipos de turbinas .....	37

3.3 – Geradores.....	40
3.3.1 – Geradores de corrente alternada(Lei de indução de Faraday) .....	41
CAPÍTULO 4 – IMPLEMENTAÇÃO.....	43
4.1 – Protótipo .....	43
4.2 – Descrição do funcionamento e implementação .....	49
4.3 – Desafios na construção do protótipo .....	52
CAPÍTULO 5 – TESTES E RESULTADOS.....	53
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO.....	59
6.1 - Conclusões .....	59
6.2 - Sugestões para Trabalhos Futuros.....	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Hidrelétrica.....	19
Figura 2.2 - Projeto piloto .....	20
Figura 2.3 - Projeto de usina maremotriz .....	20
Figura 2.4 - Usina de Rance .....	21
Figura 3.1 - Aceleração Centrípeta.....	30
Figura 3.2 - Transmissão de movimento circular .....	32
Figura 3.3 - Usina .....	33
Figura 3.4 - Funcionamento Hidrelétricas .....	34
Figura 3.5 - Partes de uma turbina.....	36
Figura 3.6 – Turbina Pelton.....	38
Figura 3.7 - Turbina Francis .....	38
Figura 3.8 - Turbina Kaplan .....	39
Figura 3.9 - Turbina Bulbo .....	40
Figura 3.10 - Gerador de CA .....	41
Figura 4.1 - Planejamento turbina .....	43
Figura 4.2 - Turbina encontrada .....	44
Figura 4.3 - Turbina encontrada 2 .....	44
Figura 4.4 - Rolamento .....	45
Figura 4.5 - Eixo .....	45
Figura 4.6 - Rolamento acoplado ao eixo.....	46
Figura 4.7 - Coroa maior .....	46
Figura 4.8 - Coroa menor .....	47
Figura 4.9 - Gerador .....	477
Figura 4.10 - Isopor 3D .....	48
Figura 4.11 - Planejamento suporte eixo .....	488
Figura 4.12 - Fluxograma.....	49
Figura 4.13 - Eixo e turbina acoplados.....	49
Figura 4.14 - Acoplamento.....	51
Figura 4.15 - Comparação entre eixos.....	511
Figura 5.1 - Projeto em testes .....	577
Figura 5.2 - Projeto final .....	588

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados dos testes .....	53
Tabela 2 - Estatística dos dados.....	54
Tabela 3 - Instante x RPM.....	55
Tabela 4 - Potência .....	56

## RESUMO

Este projeto visa gerar e coletar energia elétrica a partir da energia cinética de um fluxo de água com objetivo de aproveitar de um recurso natural com um imenso potencial devido a sua extensão e sem muita degradação ao meio ambiente. O projeto utiliza um gerador de pequeno porte, que é o principal elemento do projeto. O modelo do gerador utilizado é o 1R/20 da empresa “WEG” e tem como característica a necessidade de poucas rotações para gerar a tensão desejada. O projeto utiliza também um recurso mecânico de acoplamento, elevando o número de rotações, uma turbina do tipo “Pelton” com o fluxo cruzado. Uma lâmpada de pequena potência é utilizada para demonstrar a energia gerada, como evidência da eficácia do método. Como o projeto foi produzido em um modelo reduzido, o resultado esperado é a geração de energia elétrica com um pequeno fluxo de água e a junção de alguns métodos de engenharia para otimizar a utilização do recurso. Torna-se possível também analisar a possibilidade de se estimar o número de rotações da turbina e do gerador, assim como o ganho percebido nas rotações.

**Palavras Chave:** Gerador, Turbinas, Geração de energia elétrica.

## **ABSTRACT**

This project intends to create and collect electric energy from the kinetic energy of a flux of water, thus benefiting from a natural resource that has an enormous potential due to its extension and the low risks of environmental damage. The project's key element is a small generator, model 1R/20 from WEG Company, and one of its characteristics is the need of few rotations to reach the desired tension. The project also utilizes a mechanical equipment of connection, which elevates the number of rotations, a Pelton turbine with a crossed flux. To demonstrate the effectiveness of the method, a low voltage lamp, fed by the energy generated, is used. As the project was executed on a smaller basis, electric energy will be generated via a small flux of water with the assistance of some engineering concepts that will optimize the use of the natural resource. We analyze the possibility of estimating the number of rotations of the turbine and the generator, as well as the gain in rotations.

**Keywords:** generators, turbines, generation of electric energy

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Mesmo antes da existência da tecnologia atual, o ser humano vem utilizando de técnicas e mecanismos que possam facilitar seu trabalho, como o emprego de animais – boi, cavalo, cachorro e outros – até a criação de ferramentas e máquinas – pá, enxada, foice, carroça e etc. Com o passar dos anos e a evolução da tecnologia, o homem descobriu a energia elétrica. Após isso, o ser humano começou a utilizar deste recurso para facilitar trabalhos domésticos, industriais, comunicação e outros. Hoje em dia, poucos são os utensílios que não necessitam de energia elétrica em seu funcionamento, mas mesmo assim provavelmente utilizaram em sua confecção e criação. Sendo assim a geração de energia elétrica é um dos principais elementos de estudo no mundo, o que originou a utilização em grande escala das energias alternativa, classificação deste trabalho de pesquisa.

O objetivo de estudo deste trabalho foi aprofundar e dar continuidade no estudo de meios de geração alternativa e o modelo escolhido foi a geração de energia elétrica por energia cinética de um fluxo de água. Tem-se como objetivo a utilização deste projeto em rios, mares e em qualquer local que exista um fluxo de água que não esteja sendo aproveitado, como por exemplo o escoamento de águas pluviais. Atualmente, o governo brasileiro tem feito leilões para empresas que contribuem com modelos, propostas e até mesmo projetos finalizados dentro do tema energia renovável.

O projeto utilizou da junção de dois tipos de turbinas, a “Pelton” e a de fluxo cruzado, com a finalidade de aumentar a possibilidade de utilização em qualquer fluxo de água. Esta turbina trabalha com altas velocidades de rotação e como o projeto não é específico, foi a que melhor se encaixou no planejamento e utilização.

Por se tratar de um projeto de pequeno porte em nível de estudo, o mesmo, da maneira que foi implementado, não poderia ser utilizado em grande escala e em produção. Seria necessários ajustes para cada modelo de utilização possível e proposto. O mesmo utilizou um gerador de pequeno porte, com baixa geração de energia e com pouca relação tensão por rotação.

Desta forma, espera-se que esta pesquisa e este projeto possam contribuir com a engenharia como um todo para futuros estudos, futuros projetos e talvez uma produção em grande escala do modelo apresentado. Espera-se que esta pesquisa traga benefícios ao ser humano que tanto vem degradando o planeta.

## **1.1 – Apresentação do Problema**

Os meios de geração de energia elétrica utilizados em grande escala hoje em dia acabam degradando demais o meio ambiente, conseqüentemente deu-se início a uma grande busca por outros meios de geração de energia que degradem menos o meio ambiente, chamados de energia alternativa, classificação deste trabalho de pesquisa.

## **1.2 – Objetivos do trabalho**

O objetivo geral do trabalho é, gerar alarme de consciência nos seres humanos para o problema, conseguir gerar energia elétrica com baixo custo e com uma pequena degradação ao meio ambiente.

Os objetivos específicos são, utilizando um conceito diferente de turbinas e um dispositivo mecânico de otimização da energia, através de transmissão de movimento circular, gerar energia elétrica.

## **1.3 – Justificativa e Importância do Trabalho**

Este projeto de pesquisa torna-se importante devido a utilização de um modelo diferente de turbinas, ou seja, a junção de dois métodos já utilizados, método pelton e método de turbinas com o fluxo cruzado e principalmente pela geração de energia elétrica por meio alternativo que é pouco estudada e utilizada no país.

## **1.4 – Escopo do Trabalho**

O problema deste projeto de pesquisa consiste em demonstrar o uso de um fluxo de água para gerar energia elétrica, com baixo custo financeiro. O projeto utiliza um gerador que é o responsável pela transformação da energia cinética em energia elétrica. Um turbina do tipo “Pelton”, com o fluxo cruzado, para com pouco fluxo de água, ter uma quantidade boa de rotações, algo em torno de 120 rotações por minuto. A utilização de outros métodos de turbina

trariam um aspecto muito particular ao projeto, sendo que o mesmo tem uma visão mais geral, pois não especifica a origem do fluxo de água.

A eficácia do método é provada por uma lâmpada que acende, demonstrando que a energia cinética do fluxo da água fez a turbina girar e através de indução eletromagnética gerou energia elétrica no gerador.

Devido a dificuldades na criação, o gerador foi comprado pronto com a intuição de ter uma melhor relação de custo, prazo e benefício.

### **1.5 – Resultados Esperados**

É esperado como resultado a geração de energia elétrica, causada pela força da energia cinética de um fluxo de água, acendendo uma lâmpada no final. Como se trata de um modelo em escalas reduzidas, espera-se uma pequena energia gerada.

### **1.6 – Estrutura do Trabalho**

Esta monografia é composta de 6 capítulos, iniciando com a INTRODUÇÃO, que apresenta o problema, o objetivo, justificativa, importância do trabalho, escopo e os resultados esperados.

O capítulo 2 tem a APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA e a maneira como vem sendo tratado o problema em outros países e no Brasil.

No capítulo 3 encontra-se o REFERENCIAL TEÓRICO, ou seja, toda a teoria utilizada direta e indiretamente pelo projeto, toda a parte de hidrodinâmica, a indução eletromagnética, turbinas e geradores.

No capítulo 4 está o detalhamento da IMPLEMENTAÇÃO do projeto e suas particularidades, além da explicação da escolha de alguns dispositivos.

No capítulo 5 são apresentados os TESTES E RESULTADOS da solução proposta para o problema.

O capítulo 6 apresenta a CONCLUSÃO, bem como as recomendações e sugestões para trabalhos futuros que possam ser realizados neste segmento.

## **CAPÍTULO 2 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA**

### **2.1 – Aspectos internacionais**

Futuramente o planeta irá sofrer com falta de energia devida à grande demanda de energia causada pela quantidade de habitantes e a degradação que os atuais meios de geração de energia elétrica causam no meio ambiente. Estes problemas são de cunho social, econômico e geográfico e com alguns dados relatados abaixo fica claro a exposição dos mesmos.

O gasto de energia elétrica no mundo, atualmente, 15 trilhões de *Kilowatts x hora*, ou seja, é uma grande demanda de energia elétrica para ser gerada tornando-se um grande problema. Estima-se que até o ano de 2030, a demanda de energia aumente para 30 trilhões. (IEO, 2010)

Atualmente, 2 bilhões de pessoas ainda não tem acesso a energia elétrica. Este é um dado preocupante pois representa quase 30% da população mundial e com certeza está atribuído aos países com baixo desenvolvimento e com grande pobreza onde alguns recursos de geração de energia alternativa podem ajudar, caso os mesmos sejam de baixo custo. Na população mundial, 6% que vive nos países mais ricos consomem 1/3 de toda a energia elétrica produzida no mundo. Mundialmente só 20% da energia gerada é por meio hídrico. (IEO, 2010)

### **2.2 – Aspectos nacionais**

No Brasil, no mês de junho de 2010, foi gasto um total de 34,6 mil gigawatts – hora, o que apresenta novamente um preocupante dado e extremamente relevante para ser solucionado. Apesar do Brasil não ser um país que lidera o ranking de consumo de energia, este valor tem relevância pois apresenta um consumo alto em um país que não é muito industrializado. (MPOG, 2010)

Da energia gerada no país, 78% está relacionada a recursos hídricos, já tendo expulsado mais de um milhão de pessoas de suas terras, devido aos alagamentos realizados nas usinas hidrelétricas no padrão atual. (MPOG, 2010)

Encontra-se por aqui mais de 2000 barragens alagando uma área acima de 34 mil km quadrados. O padrão de usina hidroelétrica utilizado pelos responsáveis em nosso país tem

como característica o alagamento de grandes áreas de terra para conseguir represar a água e por consequência aumentar a pressão da água na queda, para otimizar a utilização do recurso. (MPOG, 2010)

Praticamente 63% das usinas encontram-se na região amazônica, onde a geração é de alto impacto ambiental e alto custo de transmissão. A região amazônica é muito rica em recursos naturais, principalmente hídricos, o que faz com que empresas se instalem na área para aproveitarem os recursos. Porém o custo ambiental que tem a criação de uma usina hidroelétrica no meio de um rio é muito alto, tanto para a fauna como para a flora da região. Muitas espécies devem ter mudado seu costume alimentar. Muitos animais devem ter morrido nessas barragens. Elas interferem diretamente na migração e reprodução dos peixes. Geram muitos resíduos na manutenção e corrosão dos equipamentos com o tempo. Alteram diretamente todo o funcionamento de um rio. Causam resumidamente um desequilíbrio ambiental. A produção de água é uma das funções das florestas, porém, 70% da população brasileira vive no Domínio da Mata Atlântica, cuja vegetação foi reduzida pelo desmatamento a menos de 8% da cobertura original. Por isso, a fonte está secando e as medidas conservacionistas são urgentes. Além de manter as águas subterrâneas (lençol freático), a vegetação serve para proteger os corpos d'água, através das matas ciliares - faixa de mata de no mínimo 30 metros de cada lado dos rios, determinada pela lei. (BRASIL ESCOLA, 2009)

O governo tem um plano para no ano de 2015, acrescentar mais 494 usinas a este número. O recurso hídrico por mais que cause um grande impacto ao meio ambiente, é um dos métodos de geração de energia que menos causam impacto, tornando necessária e viável para o crescimento do país a construção destas usinas. Caso este planejamento se confirme, aumentará em mais de 800 mil o número de pessoas retiradas de suas terras para a construção das usinas. (CERVINSKI, 2005)

Um dado bastante preocupante é que 20,3 milhões de pessoas no país não tem acesso a energia elétrica, demonstração de desigualdade social muito grande, pois isso representa quase 10% da população do país e o que se torna preocupante é que se vê pouco esforço do governo e pouco esforço por parte dos empresários para a resolução deste problema. No meio rural somente 32% das propriedades tem energia elétrica. (MME, 2009)

### **2.2.1 – Crise de energia**

No Brasil, mais de 90% da energia é produzida nas hidrelétricas, que dependem de água em níveis adequados em seus reservatórios para gerar energia. Infelizmente, nos últimos anos, a ausência de chuvas foi as maiores das últimas décadas, prejudicando a oferta de energia. (ONS, 2010)

No dia 10 de novembro de 2009, o país sofreu um dos maiores apagões da história brasileira. 18 estados ficaram sem energia em razão de curtos-circuitos ocorridos no sistema de transmissão de Furnas Centrais Elétricas. O fato acarretou o desligamento do Sistema Interligado Nacional, com interrupção de 24.436MW, e levou a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) a realizar fiscalização pontual, resultando uma multa de R\$ 53,7 milhões a Furnas. (MPOG, 2010)

### **2.3 – Energias alternativas**

O déficit de energia elétrica traz consigo alguns fatores bem importantes e negativos associados, como: prejuízo ao crescimento do país, redução dos investimentos, aumento do custo de energia, desemprego e outros.

Os dados acima demonstram que uma crise no sistema atual de geração de energia elétrica tem bastante impacto devido ao sistema de usinas hidroelétricas escolhidos pelo país dependerem bastante do alto nível dos rios. Uma maneira de evitar esta crise atual seria buscando existentes meios de geração de energia elétrica alternativamente. Pode-se citar alguns deles: (PESQUISA, 2010)

- Biomassa, que é a matéria orgânica utilizada na produção de energia. As vantagens do uso da biomassa na produção de energia são o baixo custo, o fato de ser renovável, permitir o reaproveitamento de resíduos e ser bem menos poluente que outras fontes de energia como o petróleo ou o carvão. As biomassas mais utilizadas são: a lenha (já representou 40% da produção energética primária no Brasil), o bagaço da cana-de-açúcar, galhos e folhas de árvores, papéis, papelão, etc. A biomassa é o elemento principal de diversos novos tipos de combustíveis e fontes de energia como o bio-óleo, o biogás, o BTL e o biodiesel.

- energia solar, é proveniente do Sol (energia térmica e luminosa). Esta energia é captada por painéis solares, formados por células fotovoltaicas, e transformada em energia elétrica ou mecânica. A energia solar também é utilizada, principalmente em residências, para o aquecimento da água. A energia solar é considerada uma fonte de energia limpa e renovável, pois não polui o meio ambiente e não acaba. A energia solar ainda é pouco utilizada no mundo, pois o custo de fabricação e instalação dos painéis solares ainda é muito elevado e a existente dificuldade de armazenamento. Os países que mais produzem energia solar são: Japão, Estados Unidos e Alemanha.
- energia eólica, é gerada pelo vento. Desde a antiguidade este tipo de energia é utilizado pelo homem, principalmente nas embarcações e moinhos. Atualmente, a energia eólica, embora pouco utilizada, é considerada uma importante fonte de energia por se tratar de uma fonte limpa (não gera poluição e não agride o meio ambiente). Grandes turbinas (aerogeradores), em formato de cata-vento, são colocadas em locais abertos e com boa quantidade de vento. Através de um gerador, o movimento destas turbinas gera energia elétrica. Atualmente, apenas 1% da energia gerada no mundo provém deste tipo de fonte. Porém, o potencial para exploração é grande.
- energia nuclear, também chamada atômica, é obtida a partir da fissão do núcleo do átomo de urânio enriquecido, liberando uma grande quantidade de energia. A energia nuclear mantém unida as partículas do núcleo de um átomo. A divisão desse núcleo em duas partes provoca a liberação de grande quantidade de energia. Atualmente os Estados Unidos lideram a produção de energia nuclear, porém os países mais dependentes da energia nuclear são França, Suécia, Finlândia e Bélgica. Na França, cerca de 80% de sua eletricidade é oriunda de centrais atômicas.
- energia geotérmica, Geo significa Terra e térmica significa calor, por isso, geotérmica é a energia calorífica que vem da Terra. Abrem-se buracos fundos no chão até chegar aos reservatórios de água e vapor, estes são drenados até a superfície por meio de tubos e canos apropriados. O vapor faz girar as lâminas da turbina. A energia mecânica da turbina é transformada em energia elétrica através do gerador. A diferença destas centrais elétricas é que não é necessário queimar um combustível para produzir eletricidade. Após passar por uma

turbina o vapor é conduzido para um tanque onde vai ser arrefecido. A água é de novo canalizada para o reservatório onde será naturalmente aquecida pelas rochas quentes.

## **2.4 – Estado da arte da utilização da energia cinética da água para geração de energia elétrica**

O uso da força das águas para gerar energia é bastante antigo e começou com a utilização das chamadas “noras”, ou rodas d’água do tipo horizontal, que através da ação direta de uma queda d’água produz energia mecânica e são usadas desde o século I a.C.. A partir do século XVIII, com o surgimento de tecnologias como o motor, o dínamo, a lâmpada e a turbina hidráulica, foi possível converter a energia mecânica em eletricidade. (INFO, 2008)

### **2.4.1 – Usinas hidroelétricas**

O acionamento do primeiro sistema de conversão de energia cinética de um fluxo de água em energia elétrica do mundo ocorreria somente em 1897 quando entrou em funcionamento a hidrelétrica de “*Niagara Falls*” (EUA) idealizada por Nikola Tesla com o apoio da *Westinghouse*. De lá para cá o modelo é praticamente o mesmo, com mudanças apenas nas tecnologias que permitem maior eficiência e confiabilidade do sistema. Segue na figura 2.1, as partes de uma usina: (INFO, 2008)

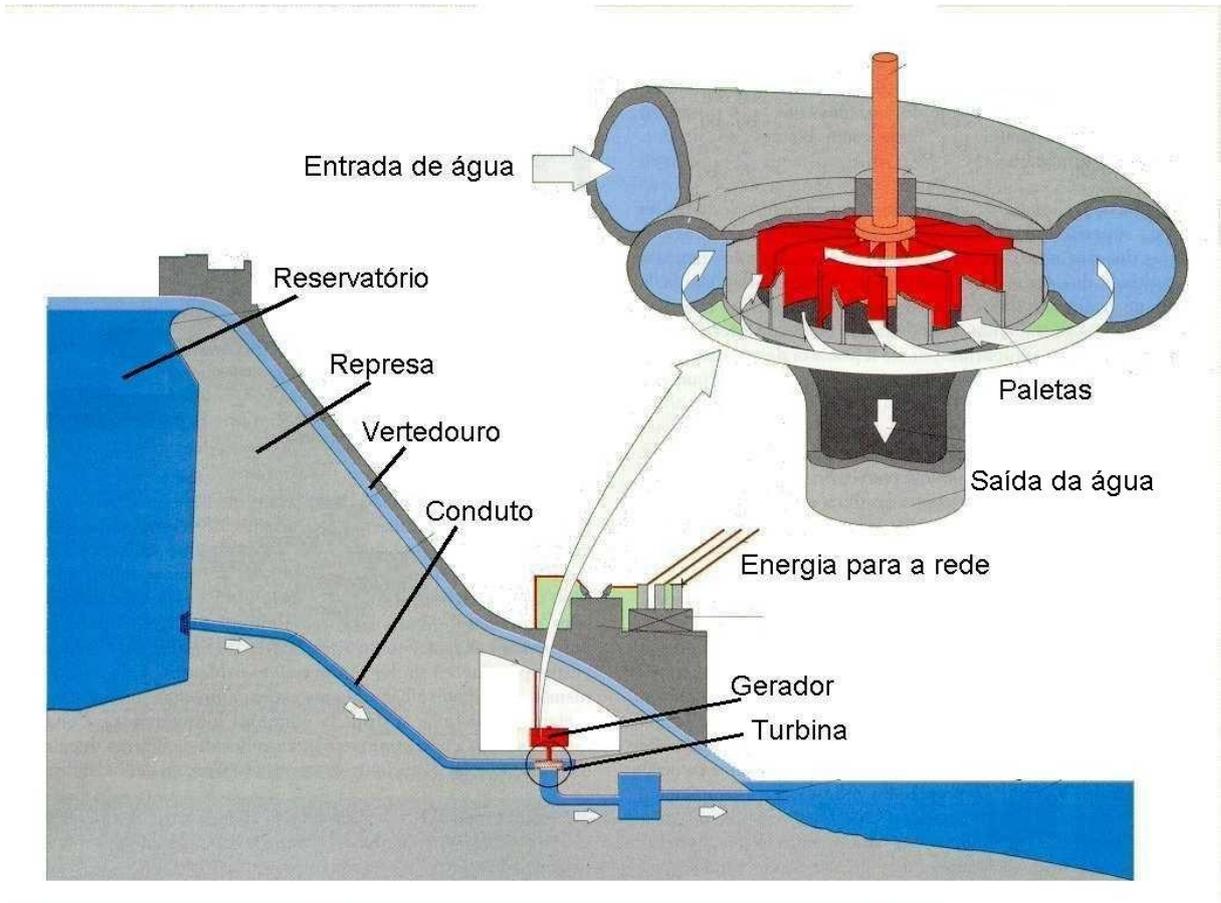


Figura 2.1 – Hidrelétrica (fonte: <http://static.infoescola.com/wp-content/uploads/2009/08/full-1-40d8380e29.jpg>)

#### 2.4.2 – Usinas maremotrizes

As marés, originadas pela atração lunar, que a cada 12 horas e 25 minutos varrem os litorais, representam uma tentadora fonte energética. Em conjunto, a temperatura dos oceanos, as ondas e as marés poderiam proporcionar muito mais energia do que a humanidade seria capaz de gastar. Apesar das inúmeras experiências que se sucederam desde os anos 60, não se desenvolveu ainda uma tecnologia eficaz para a exploração comercial em grande escala, como aconteceu com as usinas hidrelétricas, alimentadas pelas águas represadas dos rios, observa-se na figura 2.2, uma dessas usinas experimentais. (SUPER, 1998)



Figura 2.2 - Projeto piloto (fonte: [http://www.mongabay.com/images/media/pelamis\\_515x235.jpg](http://www.mongabay.com/images/media/pelamis_515x235.jpg))

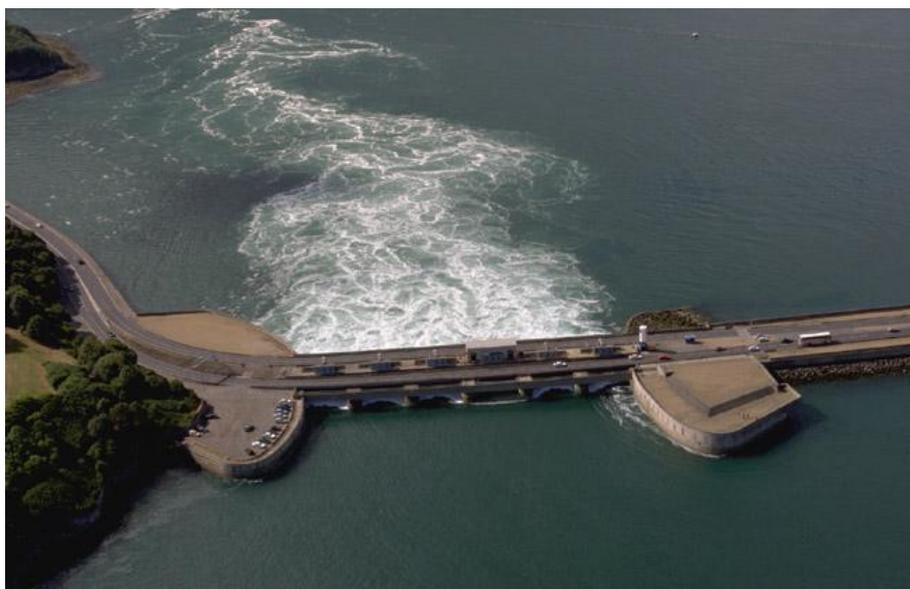
A energia cinética do mar pode gerar energia elétrica utilizando três maneiras diferentes. A energia retirada do movimento das ondas aproveita a sua subida/descida para acionar uma turbina e o gerador. A energia das correntes marítimas transforma-se em eletricidade através da construção de diques e reservatórios. Quando a maré baixa a água sai do reservatório passando pela turbina tal como numa barragem comum. Também são usados as diferenças de temperatura entre a superfície e o fundo do oceano para produzir eletricidade.

A intenção de extrair a energia acumulada nos oceanos, utilizando a diferença da maré alta e da maré baixa, não é nova. Já no século XVII havia na Europa moinhos submarinos, que eram instalados na entrada de estreitas baías - o fluxo e o refluxo das águas moviam as pedras de moer. Mas os pioneiros da exploração moderna das marés foram os habitantes de Husum, pequena ilha alemã no mar do Norte. Ali, por volta de 1915, os tanques para o cultivo de ostras estavam ligados ao mar por um canal, onde turbinas moviam um minigerador elétrico durante a passagem da água das marés, conforme observa-se na figura 2.3. A eletricidade assim produzida era suficiente para iluminar o povoado, que naquela época não utilizava muitos recursos eletrônicos. (SUPER, 1998)



Figura 2.3 - Projeto de usina maremotriz (fonte: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/energia-das-mares/imagens/energia-das-mares-18.jpg>)

Depois de muito estudo e pesquisa, em 1967, os franceses construíram a primeira central maremotriz, conforme observa-se na figura 2.4, ligada à rede nacional de transmissão. Uma barragem de 750 metros de comprimento, equipada com 24 turbinas, fecha a foz do rio Rance, na Bretanha, noroeste da França. Com a potência de 240 megawatts (MW), suficiente para a demanda de uma cidade com 200 mil habitantes. Naquela época a usina de Rance foi por muito tempo e muitas tentativas, a única no mundo a produzir, com lucro, eletricidade em quantidade industrial a partir das marés. (SUPER, 1998)



**Figura 2.4 - Usina de Rance**

(fonte: [http://www.knowledge.allianz.com.br/images/media/gal\\_renewable\\_energy/EDF\\_La-Rance\\_2\\_quer.jpg](http://www.knowledge.allianz.com.br/images/media/gal_renewable_energy/EDF_La-Rance_2_quer.jpg))

O exemplo francês estimulou os soviéticos em 1968 a instalar perto de Murmansk, no mar de Barents, Círculo Polar Ártico, uma usina piloto de 20 MW, que serviria de teste para um projeto colossal, capaz de gerar 100 mil MW, ou oito vezes mais que Itaipu. A usina exigiria a construção de um gigantesco dique de mais de 100 quilômetros de comprimento. Mas a idéia foi arquivada quando se verificou que seria economicamente inviável. (SUPER, 1998)

O desenvolvimento de um novo tipo de turbina, chamada Straflo (do inglês, straight flow, fluxo direto), permitiu reduzir em um terço os custos de uma usina maremotriz. Os canadenses foram os primeiros a empregá-la. Em 1984, acionaram uma usina experimental de 20 MW, instalada na baía de Fundy (na fronteira com os Estados Unidos, na costa Leste), onde o desnível de 20 metros entre as marés é o maior do mundo (na usina de Rance, por exemplo, a diferença é de 13,5 metros). (SUPER, 1998)

Em agosto de 1998 a Austrália investiu 125 milhões de dólares para a construção da Usina marémotriz de Derby (Austrália), com capacidade de geração de 48 MW, resultando em 200 GWh/ano. Este projeto beneficiária 20 mil residências, todavia problemas de natureza ambiental, social e econômica promoveram bastante discussões em torno da viabilização. (SUPER, 1998)

Em Dalupiri nas Filipinas (1999), 2.79 milhões de dólares foram investidos na geração de uma usina maré-motriz com potência de 2200 MW, que será posta em operação em seis anos. Essa obra se tornará economicamente viável em longo prazo (25 anos), e será realizada em quatro etapas. (SUPER, 1998)

Dentre todas as iniciativas de construção de usinas maremotriz, a usina de Severn em Bread Down, será o maior empreendimento já feito pelo homem nos últimos tempos, no que tange as obras a serem realizadas. Com um orçamento de 8 milhões de dólares, terá 16 quilômetros de extensão, 216 grandes turbinas, podendo gerar até 8640 MW(7 % de eletricidade da Inglaterra e Gales). A construção esta estimada em sete anos, com perspectiva de início de operação após dois anos, quando o reservatório esteja cheio. (LIMA, 2005)

No Brasil, que não prima por marés de grande desnível, existem três lugares adequados à construção dessas usinas, relaciona o professor Reyner Rizzo, do Departamento de Oceanografia Física da Universidade de São Paulo: na foz do rio Mearim, no Maranhão, na foz do Tocantins, no Pará, e na foz da margem esquerda do Amazonas, no Amapá. "O impacto ambiental seria mínimo", explica Rizzo, "pois a água represada pela barragem não inundaria terras novas, apenas aquelas que a própria maré já cobre." (SUPER, 1998)

Basta pensar que uma onda de 3 metros de altura contém pelo menos 25 kW de energia por metro de frente. O difícil, talvez impossível, é transformar eficientemente toda essa energia em eletricidade - os dispositivos desenhados até hoje são em geral de baixo rendimento. E não é por falta de idéias - desde 1890, somente na Inglaterra foram concedidas mais de 350 patentes a dispositivos para aquela finalidade. (SUPER, 1998)

A maioria usa o mesmo princípio: a onda pressiona um corpo oco, comprimindo o ar ou um líquido que move uma turbina ligada a um gerador. Com esse processo, a central experimental de Kaimei, uma balsa de 80 por 12 metros, equipada com turbinas verticais, funciona desde 1979 em frente da costa japonesa, produzindo 2 MW de potência. Na Noruega, cujo litoral é constantemente fustigado por poderosas ondas, foi construída em 1985 uma minicentral numa ilha perto da cidade de Bergen, na costa Oeste. Ao contrário do sistema japonês, o equipamento não flutua no mar, mas está encravado numa escarpa. Produz 0,5 MW, o suficiente para abastecer uma vila de cinquenta casas. A instalação consiste em um

cilindro de concreto, disposto verticalmente num nicho aberto com explosivos na rocha. A extremidade inferior, submersa, recebe o impacto das ondas, que comprimem o ar coluna acima no cilindro. O ar, sob pressão, movimentava a turbina, antes de escapar pela extremidade superior. O movimento rítmico das ondas assegura que a turbina gere eletricidade sem parar. (SUPER, 1998)

Mas o projeto mais original é, sem dúvida, o do engenheiro Stephen Salter, da Universidade de Edimburgo, na Escócia. Modelos reduzidos dele já foram testados no lago Ness. O sistema chama-se "pato de Salter" (*Salter's cam*, em inglês, eixo excêntrico de Salter; o nome em português vem do fato de o equipamento imitar o movimento das nadadeiras de um pato). Consiste numa série de flutuadores, semelhantes ao flap dos aviões, ligados a um eixo paralelo à praia. A parte mais bojuda dos "patos", enfrenta as ondas, cujo movimento rítmico faz bater os flutuadores, girando o eixo que aciona a turbina como um pedal de bicicleta, que só transmite o movimento numa direção. O rendimento desse sistema promete ser excelente, pois parece capaz de aproveitar 80% da energia das ondas. (SUPER, 1998)

O francês Georges Claude, inventor solitário e voluntarioso, na década de 30, investiu toda a sua considerável fortuna na construção de uma usina nas costas brasileiras, a qual havia sido pioneiro em estudos. Este demonstrou que uma diferença de 18 graus entre a temperatura das águas aquecidas da superfície e as mais frias da profundidade do oceano, era suficiente para movimentar um sistema fechado no qual a amônia, ou a água, num ambiente de vácuo parcial, se evapora, movendo uma turbina que gera eletricidade, e volta a se condensar, para tornar a evaporar, movimentando novamente a turbina e assim por diante. Depois de anos de experimentos e, posteriormente preparativos, começou a instalação de uma usina no Rio de Janeiro. A delicada operação de descer os 800 metros de tubo, mas o movimento das ondas impediu a soldagem perfeita de uma das 112 seções - e o projeto acabou falhando. Georges Claude morreu arruinado em 1960, sem realizar seu sonho. (SUPER, 1998)

A técnica porém sobreviveu, conhecida pela sigla ETM (energia térmica dos mares). O governo francês voltaria a utilizá-la em 1948, com a construção de uma usina experimental ao largo de Abidjan, na Costa do Marfim, África Ocidental. (SUPER, 1998)

O projeto mais ambicioso até agora foi o da companhia americana Lockheed, no início dos anos 70, abandonado afinal por razões econômicas. Seria uma gigantesca central do tamanho de um super-petroleiro de 300 mil toneladas, que flutuaria no mar como um iceberg, no qual apenas a torre de acesso, de 16 metros, estaria acima da superfície. Da parte inferior da estrutura submersa penderiam os tubos - com 500 à 700 metros de comprimento - para sugar a água fria. Pela parte superior, entraria a água aquecida da superfície um líquido

operante de baixo ponto de ebulição (que vira vapor em temperaturas relativamente baixas), como o amoníaco, o freon ou o propano, impulsionaria as turbinas. Ainda que o rendimento final fosse irrisório, pois 97 por cento da energia produzida era consumido no próprio processo de bombear a água de tamanha profundidade, os quatro geradores previstos no projeto proporcionariam uma potência de 60 MW. (SUPER, 1998)

Resta aguardar a próxima crise energética para saber se a humanidade tentará novamente aproveitar a imensa generosidade dos mares, rios, outros, para com tecnologias cada vez mais avançadas captarem energia elétrica, ou se permanecerão com a ideologia e os métodos utilizados atualmente?

## CAPÍTULO 3 – BASES METODOLÓGICAS PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

A melhor maneira encontrada para tratar de geração de energia elétrica por meio de um fluxo de água foi entendendo os efeitos do escoamento, da aceleração do fluido, dos elementos presentes em uma turbina e da indução eletromagnética.

### 3.1 – Escoamento

#### 3.1.1 – Aceleração para um fluido

A aceleração de uma partícula de um fluido é encontrada considerando-se uma partícula específica. Sua velocidade muda  $\mathbf{V}$  (t) no tempo t para (t+dt). A aceleração é por definição,(POTTER, 2006)

$$a = \frac{dV}{dt} \quad (3.1)$$

O vetor velocidade  $V$  é dado, em termos de suas componentes, como

$$V = u\hat{i} + v\hat{j} + w\hat{k} \quad (3.2)$$

Em que (u, v, w) são as componentes da velocidade nas direções x, y e z, respectivamente  $\hat{i}$ ,  $\hat{j}$  e  $\hat{k}$ , são os vetores unitários. A quantidade dV é, usando a regra da cadeia do cálculo, com V igual a  $V(x, y, z, t)$ ,

$$dV = \frac{\partial V}{\partial x} dx + \frac{\partial V}{\partial y} dy + \frac{\partial V}{\partial z} dz + \frac{\partial V}{\partial t} dt \quad (3.3)$$

Com isso tem-se a aceleração como

$$a = \frac{\partial V}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial V}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial V}{\partial z} \frac{dz}{dt} + \frac{\partial V}{\partial t} \quad (3.4)$$

Ao seguir uma partícula específica, reconhece-se que

$$\frac{dx}{dt} = u; \frac{dy}{dt} = v; \frac{dz}{dt} = w \quad (3.5)$$

A aceleração é, então, expressa como

$$a = u \frac{\partial V}{\partial x} + v \frac{\partial V}{\partial y} + w \frac{\partial V}{\partial z} + \frac{\partial V}{\partial t} \quad (3.6)$$

### 3.1.2 – Escoamentos viscosos e não viscosos

O escoamento de um fluido pode ser classificado em geral como um escoamento viscoso ou um escoamento não viscoso. Um escoamento não viscoso é um escoamento no qual o efeito viscoso não influencia significativamente e, assim, é desprezado. Em um escoamento viscoso, o efeito da viscosidade é importante e não pode ser ignorado. O efeito da viscosidade é provocar a aderência do fluido à superfície, ou conhecido como “Condição de não-eskorregamento”. (POTTER, 2006)

A força de viscosidade é dada pela fórmula de Newton: (TEIXEIRA, 2005)

$$F = \eta A \frac{dV}{dx} \quad (3.7)$$

Onde " $\eta$ " é o coeficiente de viscosidade dinâmica, "A" é a área da camada do fluido, "x" é a direção perpendicular a "v" e perpendicular a "A".

### 3.1.3 – Escoamentos laminares e turbulentos

Um escoamento viscoso pode ser classificado como laminar ou turbulento. Em um escoamento laminar, o fluido escoar sem nenhuma mistura significativa entre partículas vizinhas do fluido. Se um corante fosse injetado no escoamento, ele não se misturaria com o

fluido vizinho, a não ser por meio da atividade molecular. Ele manteria sua identidade por um período de tempo relativamente longo.(POTTER, 2006)

Em um escoamento turbulento os movimentos do fluido variam irregularmente, de tal modo que as variáveis, tais como velocidade e pressão, mostram alterações aleatórias com as coordenadas de tempo e espaço. As variáveis físicas são descritas por médias estatísticas. Nesse sentido podemos definir um escoamento turbulento permanente como, um escoamento no qual as variáveis físicas médias, viram constantes pois não variam com relação ao tempo. (POTTER, 2006)

As razões pelas quais o escoamento pode ser laminar ou turbulento tem relação com o que acontece a uma pequena perturbação do escoamento, uma perturbação dos componentes de velocidade. Uma perturbação do escoamento pode tanto aumentar quanto diminuir em tamanho. Se uma perturbação do escoamento em um escoamento laminar aumenta, isto é, o escoamento é instável, o escoamento pode tornar-se turbulento, se a perturbação diminui, o escoamento permanece laminar. (FOX, 2006)

O regime do escoamento depende de três parâmetros físicos que descrevem as condições do escoamento. O primeiro parâmetro é um comprimento de escala do campo de escoamento, tal como a espessura de uma camada limite, ou o diâmetro de uma tubulação. Se esse comprimento de escala é suficientemente grande, a perturbação do escoamento pode aumentar e o escoamento pode ser turbulento. O segundo parâmetro é uma velocidade de escala, tal como uma média espacial da velocidade, para uma velocidade suficientemente alta, o escoamento pode ser turbulento. O terceiro parâmetro é a viscosidade cinemática, para a viscosidade suficientemente pequenas, o escoamento pode ser turbulento. (POTTER, 2006)

Os três parâmetros podem ser combinados em um único parâmetro, que pode servir como uma ferramenta para prever o regime do escoamento. Essa quantidade é o número de Reynolds, um parâmetro adimensional, definido como(POTTER, 2006)

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad (3.8)$$

em que L e V são um comprimento característico e uma velocidade, respectivamente e  $\nu$  é a viscosidade cinemática; por exemplo, num escoamento dentro de uma tubulação, L pode ser o diâmetro da tubulação e V a velocidade média. Se o número de Reynolds é relativamente

pequeno, o escoamento é laminar. Se é grande o escoamento é turbulento. Isso é enunciado mais precisamente definido o número de Reynolds crítico,  $Re_{crít}$ , tal que o escoamento é laminar se  $Re < Re_{crít}$ . Por exemplo, em um escoamento dentro de uma tubulação de paredes ásperas, encontra-se o  $Re_{crít} \approx 2000$ . Esse é o número de Reynolds críticos mínimos é usado na maioria das aplicações de engenharia. Se a parede da tubulação for extremamente lisa e livre de vibrações, o número de Reynolds crítico pode ser aumentado enquanto o nível de flutuação do escoamento diminui; valores acima de 4000 já foram medidos. O número crítico de Reynolds é diferente para cada geometria.(POTTER, 2006)

### 3.1.4 – Equação de Bernoulli

Esta equação provavelmente é mais usada quando tratamos de escoamento de um fluido. Por ser inúmeras vezes utilizada erroneamente é importante entender a suas limitações que é desprezar a viscosidade do fluido. Em outras palavras, as forças de cisalhamento introduzidas pelos gradientes de velocidade não são consideradas. Essas tensões são, muitas vezes, muito pequenas quando comparadas às diferenças de pressão no campo de escoamento. (POTTER, 2006)

A obtenção desta importante equação começa com a aplicação da segunda lei de Newton para uma partícula do fluido. Usemos uma partícula cilíndrica infinitesimal com comprimento  $ds$  e área  $dA$ . As forças agindo nas partículas são as forças devidas à pressão e ao peso. Então tem-se a seguinte equação, onde  $V$  é a velocidade,  $P$  é a pressão,  $g$  é a gravidade,  $h$  a altura relativa e  $\rho$  é a densidade do fluido: (POTTER, 2006)

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} + gh_1 = \frac{V_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho} + gh_2 \quad (3.9)$$

Esta é a equação de Bernoulli. Nota-se algumas hipóteses abaixo: (POTTER, 2006)

- Escoamento não viscoso (não há tensões de cisalhamento)
- Escoamento permanente ( $\partial V/\partial t = 0$ )
- Ao longo de uma linha de corrente ( $a_s = V \partial V/\partial s$ )
- Massa específica constante ( $\partial \rho/\partial s = 0$ )

### 3.1.5 – Equação da quantidade de movimento aplicada a hélices

Considerando a hélice sendo movimentada por linhas de correntes de um fluido que entra com velocidade uniforme  $V_1$  e sai com velocidade uniforme  $V_2$ . A equação da quantidade de movimento, aplicada ao volume de controle grande, fornece (POTTER, 2006)

$$F = \dot{m} (V_2 - V_1) \quad (3.10)$$

Onde  $\dot{m}$  é a vazão em massa.

A potência de entrada necessária é encontrada aplicando-se a equação da energia (3.10) entre as seções 1 e 2, em que as pressões são atmosféricas, desprezando as perdas, toma a seguinte forma: (POTTER, 2006)

$$\dot{W}_{fluido} = \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2} \dot{m} \quad (3.11)$$

Em que  $\dot{W}_{fluido}$  é a entrada de energia entre duas seções. A hélice em movimento demanda da potência, dada por (POTTER, 2006)

$$\dot{W}_{hélice} = F \times V_1 = \dot{m}(V_2 - V_1) \times V_1 \quad (3.12)$$

A eficiência teórica da hélice é, então,

$$\eta_p = \frac{\dot{W}_{hélice}}{\dot{W}_{fluido}} \quad (3.13)$$

### 3.2 – Turbinas

As turbinas são máquinas primárias que têm por missão converter a energia cinética armazenada na água ou em qualquer outro fluido em energia mecânica. Quando o fluido chega nas pás ou hélices da turbina por meio da energia cinética elas promovem a saída do estado de repouso das pás que giram em torno do eixo deslocando em circunferência, ou movimento rotacional. (COSTA, 1999)

### 3.2.1 – Aceleração rotacional

Quando um ponto material se desloca sobre uma circunferência, o movimento é sempre do tipo ‘acelerado’, visto que a velocidade está constantemente mudando de direção. O valor da velocidade pode, no entanto, manter-se constante e esse é o caso do movimento circular uniforme MCU, conforme observa-se na figura 3.1. (NETO, 2008)

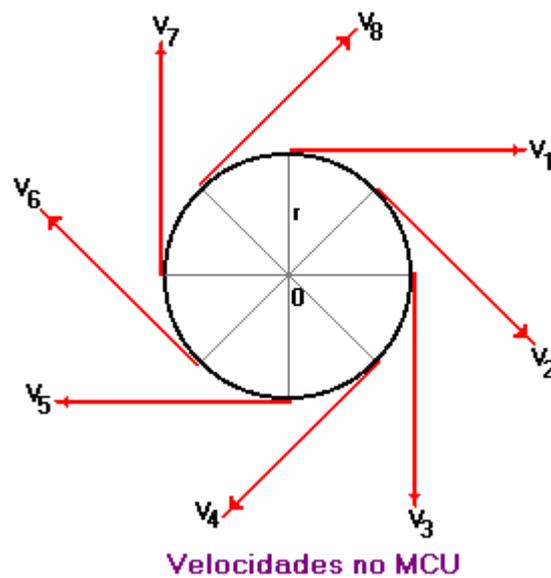


Figura 3.1 - Aceleração Centrípeta (fonte: [http://www.feiradeciencias.com.br/sala04/04\\_15.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala04/04_15.asp))

O valor da aceleração num movimento circular uniforme descreve-se, portanto, pela seguinte equação: (NETO, 2008)

$$a = \frac{2 \pi v}{T} \quad (3.14)$$

O período para um movimento circular uniforme de raio “R” e velocidade escalar “v” pode ser expresso sob a forma: (TIPLER, 2000)

$$T = \frac{2 \pi R}{v} \quad (3.15)$$

Juntando as duas equações, portanto

$$a = \frac{v^2}{R} \quad (3.16)$$

Observa-se que se o raio da revolução for constante, a aceleração é proporcional ao quadrado da velocidade e, para uma dada velocidade, a aceleração é inversamente proporcional ao raio. (NETO, 2008)

### 3.2.2 – Frequência angular

Um móvel, ao executar um movimento curvilíneo ou circular, também se deve considerar uma segunda velocidade que não aparece nos movimentos retilíneos. Essa velocidade é a velocidade angular( $\omega$ ) e ela está ligada ao movimento de rotação. O cálculo da velocidade angular é muito parecido ao da velocidade linear, mas, nesse caso, em vez da variação de posição em uma linha reta utiliza-se a variação angular( $\Delta\theta$ ), como observa-se na seguinte equação: (BISQUOLO, 2010)

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta T} \quad (3.17)$$

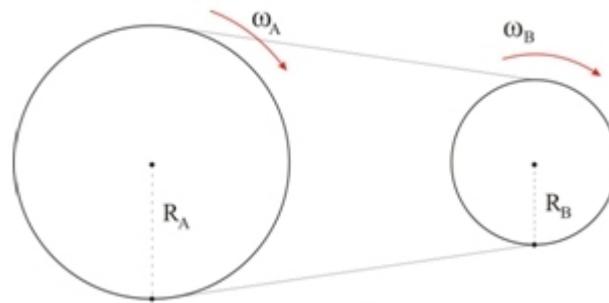
A velocidade angular e a velocidade linear se relacionam da seguinte forma: (BISQUOLO, 2010)

$$v = \omega R \quad (3.18)$$

### 3.2.3 – Transmissão de movimento circular

O movimento circular pode ser transmitido por coroas através do contato ou da ligação entre elas utilizando uma correia ou corrente. (BORGES, 2010)

Para melhor entendimento, contextualiza-se com o projeto, tem-se então que ao girar a turbina, executa-se um movimento circular em uma roda dentada (a coroa maior  $R_A$ ). Esse movimento é transmitido através de uma corrente para outra roda dentada (a coroa de menor raio  $R_B$ ), que está ligada ao gerador. Existe uma variação de velocidade angular entre as duas coroas, sendo que a de menor raio( $R_B$ ) tem velocidade angular maior do que a de maior raio( $R_A$ ), como ilustrado na figura 3.2.



**Figura 3.2 - Transmissão de movimento circular**(fonte: <http://www.infoescola.com/mecanica/transmissao-de-movimento-circular-uniforme/>)

Nota-se que a velocidade escalar entre elas é a mesma porque o acoplamento é pelo perímetro, onde (BORGES, 2010)

$$v_A = \omega_A R_A ; v_B = \omega_B R_B \quad (3.19)$$

Assim,

$$\omega_A R_A = \omega_B R_B \quad (3.20)$$

A proporcionalidade inversa entre a velocidade angular e o raio, pode ser descrita também em razão da frequência, pois a mesma indica o número de ocorrências de um evento em um determinado intervalo de tempo, conforme equações abaixo: (BORGES, 2010)

$$\omega_A = 2\pi f_A ; \omega_B = 2\pi f_B \quad (3.21)$$

onde,

$$f = \frac{1}{t} \quad (3.22)$$

portanto,

$$f_A R_A = f_B R_B \quad (3.23)$$

### 3.2.2 – Turbinas hidráulicas

As turbinas hidráulicas são projetadas para transformar a energia mecânica (a energia de pressão e a energia cinética) de um fluxo de água, em potência de eixo. Atualmente são mais encontradas em usinas hidrelétricas, onde são acopladas a um gerador elétrico, o qual é conectado à rede de energia. Contudo também podem ser usadas para geração de energia em pequena escala, para as comunidades isoladas. (CARNEIRO, 2010)

As turbinas hidráulicas dividem-se entre quatro tipos principais: Pelton, Francis, Kaplan, Bulbo. Cada um destes tipos é adaptado para funcionar em usinas, como uma determinada faixa de altura de queda. As vazões volumétricas podem ser igualmente grandes em qualquer uma delas, mas a potência será proporcional ao produto da queda (H) e da vazão volumétrica (Q). (CARNEIRO, 2010)

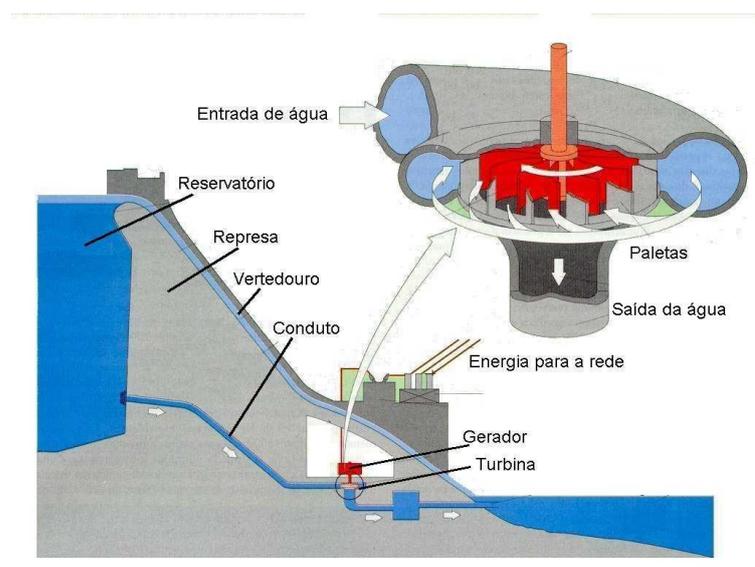
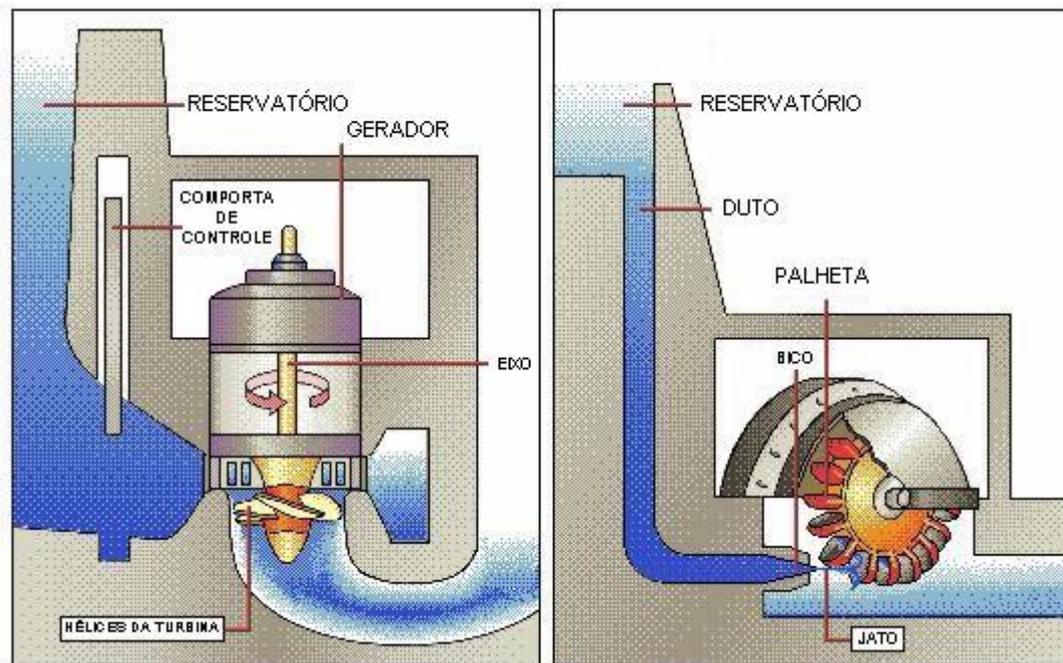


Figura 3.3 - Usina(fonte: <http://fisica.cdcc.sc.usp.br/olimpiadas/01/artigo2/turbina.jpg>)

Em todos os tipos há alguns princípios de funcionamento comuns, conforme observa-se na figura acima. A água entra pela tomada de água, a montante da usina hidrelétrica que está num nível mais elevado, e é levada através de um conduto forçado até a entrada da turbina. Lá a água passa por um sistema de palhetas guias móveis, que controlam a vazão volumétrica fornecida à turbina. Para se aumentar a potência as palhetas se abrem, para diminuir a potência elas se fecham. Após passar por este mecanismo a água chega ao rotor da turbina, conforme observa-se na figura abaixo. Nas turbinas Pelton, não há um sistema de palhetas móveis, e sim um bocal com uma agulha móvel, semelhante a uma válvula. O controle da vazão é feito por este dispositivo. (CARNEIRO, 2010)



**Figura 3.4 - Funcionamento Hidrelétricas**(fonte: [http://m.albernaz.sites.uol.com.br/Eletromecanica\\_on\\_line\\_Arquivos/turbinashidro.jpg](http://m.albernaz.sites.uol.com.br/Eletromecanica_on_line_Arquivos/turbinashidro.jpg))

Por transferência de quantidade de movimento, parte da energia potencial dela é transferida para o rotor na forma de torque e velocidade de rotação. Devido a isto a água na saída da turbina está a uma pressão pouco menor que a atmosférica, e bem menor do que a inicial. (CARNEIRO, 2010)

Após passar pelo rotor, um duto chamado tubo de sucção, conduz a água até a parte de jusante do rio, no nível mais baixo. As turbinas Pelton, têm um princípio um pouco diferente (impulsão) pois a pressão primeiro é transformada em energia cinética, em um bocal, onde o

fluxo de água é acelerado até uma alta velocidade, e em seguida choca-se com as pás da turbina imprimindo-lhe rotação e torque.

As turbinas hidráulicas, podem ser montadas com o eixo no sentido vertical. Um mancal de escora suporta todo o peso das partes girantes da turbina e do gerador que é montado logo acima dela. Em PCH's (Pequenas Centrais Hidrelétricas) as turbinas são fabricadas com eixo na horizontal. (CARNEIRO, 2010)

Normalmente, devido ao seu alto custo e necessidade de ser instalada em locais específicos, as turbinas hidráulicas são usadas apenas para gerar eletricidade. Por esta razão a velocidade de rotação é fixada num valor constante.

A potência de uma turbina(P) pode ser calculada pela seguinte relação: (CARNEIRO, 2010)

$$P = \rho Q H g \eta \quad (3.24)$$

Onde,

P = Potência da turbina

$\rho$  = Peso volumétrico

Q = Vazão volumétrica

H = Altura da queda do fluido

g = gravidade

$\eta$  = eficiência total da turbina

A eficiência é a fração da energia total da fonte de energia da água que é convertida em energia útil, ou seja, potência de eixo. As principais causas da "perda" de energia nas turbinas são: Perdas hidráulicas onde a água tem que deixar a turbina com alguma velocidade, e esta quantidade de energia cinética não pode ser aproveitada pela turbina e Perdas mecânicas: são originadas por atrito nas partes móveis da turbina e calor perdido pelo aquecimento dos mancais.

Tipicamente turbinas modernas têm uma eficiência entre 85% e 99%, que varia conforme a vazão de água e a potência gerada. (CARNEIRO, 2010)

### 3.2.3 – Partes de uma turbina

Uma turbina é constituída basicamente por cinco partes: caixa espiral, pré-distribuidor, distribuidor, rotor e eixo, tubo de sucção. (CARNEIRO, 2010)

Apesar de algumas partes da turbina não estarem implementadas no protótipo torna-se importante explicá-las pois dependendo da utilização é necessário o desenvolvimento da mesma.

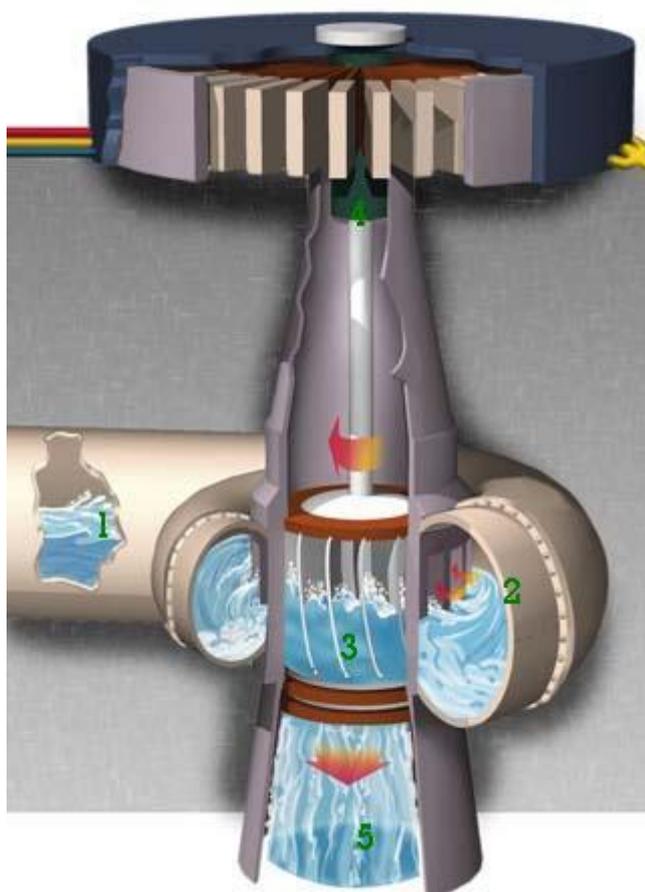


Figura 3.5 - Partes de uma turbina(fonte: [http://energiasesp12b.no.sapo.pt/esquema\\_turbina.JPG](http://energiasesp12b.no.sapo.pt/esquema_turbina.JPG))

Caixa espiral(número 1, na figura acima): É uma tubulação de forma toroidal que envolve a região do rotor. Esta parte fica integrada à estrutura civil da usina, não sendo possível ser removida ou modificada. O objetivo é distribuir a água igualmente na entrada da turbina. É fabricada com chapas de aço carbono soldadas em segmentos. A caixa espiral conecta-se ao conduto forçado na secção de entrada, e ao pré-distribuidor na secção de saída.

A caixa espiral não encontra-se desenvolvida no protótipo porque o fluxo de água utilizado não foi pré-estipulado e algumas utilizações não necessitam desta parte, como por exemplo o aproveitamento do fluxo de água de uma cachoeira.

Pré-distribuidor(número 2, na figura acima): A finalidade é direcionar a água para a entrada do distribuidor. É composta de dois anéis superiores, entre os quais são montados um conjunto de 18 a 24 palhetas fixas, com perfil hidrodinâmico de baixo arrasto, para não gerar perda de carga e não provocar turbulência no escoamento. É uma parte sem movimento, soldada à caixa espiral e fabricada com chapas ou placas de aço carbono. No protótipo este papel é desempenhado pela mangueira com água.

Distribuidor(número 3, na figura acima): é composto de uma série de 18 a 24 palhetas móveis, acionadas por um mecanismo hidráulico montado na tampa da turbina (sem contato com a água). Todas as palhetas tem o seu movimento conjugado, isto é, todas se movem ao mesmo tempo e de maneira igual. O distribuidor controla a potência da turbina pois regula vazão da água. É um sistema que pode ser operado manualmente ou em modo automático, tornando o controle da turbina praticamente isento de interferência do operador.

Rotor e eixo(número 4, na figura acima): O rotor da turbina é onde ocorre a conversão de energia hídrica em potência de eixo.

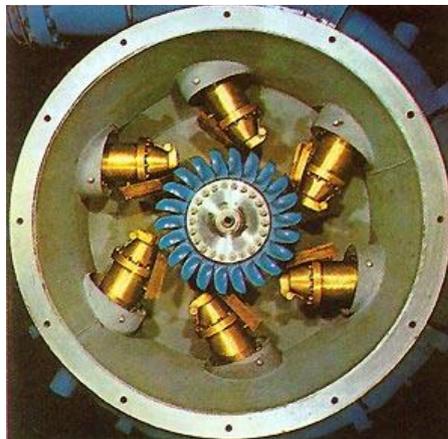
Tubo de sucção(número 5, na figura acima): Duto de saída da água, geralmente com diâmetro final maior que o inicial, desacelera o fluxo da água após esta ter passado pela turbina, devolvendo-a ao rio parte jusante da casa de força.

### **3.2.4 – Tipos de turbinas**

Turbina Pelton: São adequadas para operar entre quedas de 350 m até 1100 m, sendo por isto muito mais comuns em países montanhosos. Este modelo de turbina opera com velocidades de rotação maiores que os outros, e tem o rotor de característica bastante distintas. Os jatos de água ao se chocarem com as "conchas" do rotor geram o impulso. Dependendo da potência desejada podem ser acionados os 6 bocais simultaneamente, ou apenas cinco, quatro, ou menos. O número normal de bocais varia de dois a seis, igualmente espaçados angularmente para garantir um balanceamento dinâmico do rotor. Um dos maiores problemas destas turbinas, devido à alta velocidade com que a água se choca com o rotor, é a erosão provocada pelo efeito abrasivo da areia misturada com a água, comum em rios de montanhas. As turbinas pelton, devido a possibilidade de acionamento independente nos

diferentes bocais, tem uma curva geral de eficiência plana, que lhe garante boa performance em diversas condições de operação. (CERPCH, 2010)

O projeto utiliza a geometria da turbina Pelton, com o movimento em vertical. Apesar do protótipo não ter sido projetado apenas para grandes quedas de água, como relata-se acima nas características da turbina, o modelo Pelton trabalha com a água entrando tangencialmente a turbina, garantindo características para funcionamento em diversos tipos de escoamentos. Devido ao projeto não especificar um tipo de escoamento apenas, este modelo de turbina tornou-se viável.



**Figura 3.6 – Turbina Pelton (fonte: [http://members.tripod.com/mqhd\\_ita.mx/TurbinaPelton01.jpg](http://members.tripod.com/mqhd_ita.mx/TurbinaPelton01.jpg))**

Turbina Francis: São adequadas para operar entre quedas de 40 m até 400 m. A Usina hidrelétrica de Itaipu assim como a Usina hidrelétrica de Tucuruí, Furnas e outras no Brasil funcionam com turbinas tipo Francis com cerca de 100 m de queda d' água. (CERPCH, 2010)



**Figura 3.7 - Turbina Francis (fonte: [http://www.andritz-hydro.com.br/images/img\\_14.jpg](http://www.andritz-hydro.com.br/images/img_14.jpg))**

Turbina Kaplan: São adequadas para operar entre quedas de 20 m até 50 m. A única diferença entre as turbinas Kaplan e a Francis é o rotor. Este assemelha-se a um propulsor de navio (similar a uma hélice) com duas a seis as pás móveis. Um sistema de embolo e manivelas montado dentro do cubo do rotor, é responsável pela variação do ângulo de inclinação das pás. O óleo é injetado por um sistema de bombeamento localizado fora da turbina, e conduzido até o rotor por um conjunto de tubulações rotativas que passam por dentro do eixo. O acionamento das pás é acoplado ao das palhetas do distribuidor, de modo que para uma determinada abertura do distribuidor, corresponde um determinado valor de inclinação das pás do rotor. As Kaplans também apresentam uma curva de rendimento "plana" garantindo bom rendimento em uma ampla faixa de operação. (CERPCH, 2010)



**Figura 3.8 - Turbina Kaplan (fonte: <http://usuarios.multimania.es/jrcuenca/Imagenes/T48.jpg>)**

Turbina Bulbo: Operam em quedas abaixo de 20 m. Foram inventadas inicialmente, na década de 1960, na França para a usina maremotriz de La Rance e depois desenvolvidas para outras finalidades. Possui a turbina similar a uma turbina Kaplan horizontal, porem devido a baixa queda, o gerador hidraulico encontra-se em um bulbo por onde a água flui ao seu redor antes de chegar as pás da Turbina. (CERPCH, 2010)

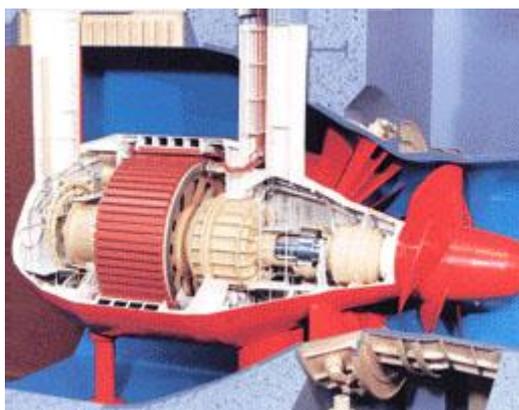


Figura 3.9 - Turbina Bulbo (fonte: [http://cidaderenovavel.files.wordpress.com/2009/11/bulb\\_turbine2.jpg](http://cidaderenovavel.files.wordpress.com/2009/11/bulb_turbine2.jpg))

### 3.3 – Geradores

Um gerador elétrico é uma máquina que realiza a transformação de uma quantidade de energia cinética em energia elétrica. O funcionamento dessas máquinas se baseia na indução eletromagnética. (MARTINO, 1982)

Um gerador possui dois terminais denominados polos: um polo negativo corresponde ao terminal de menor potencial elétrico e o polo positivo corresponde ao terminal de maior potencial elétrico. Quando colocado em um circuito, um gerador elétrico fornece energia potencial elétrica para as cargas, que entram em movimento, saindo do polo negativo para o polo positivo.

A potência elétrica total gerada ( $P$ ) por um gerador é diretamente proporcional à multiplicação da força eletromotriz( $\mathcal{E}$ ) com a intensidade da corrente elétrica( $I$ ). (MARTINO, 1982)

$$P = \varepsilon \times I \quad (3.25)$$

Para se chegar ao rendimento elétrico de um gerador, necessita-se primeiro da potência elétrica lançada( $P_l$ ), que é a potência elétrica fornecida pelo gerador ao circuito externo. (MARTINO, 1982)

$$P_l = U \times I \quad (3.26)$$

Onde  $U$  é a diferença de potencial ou tensão, entre os terminais do gerador.

O rendimento ( $\eta$ ) do gerador é a razão entre a potência lançada e a potência total gerada, ou seja: (MARTINO, 1982)

$$\eta = \frac{P_l}{P} = \frac{U \times I}{\varepsilon \times I} = \frac{U}{\varepsilon} \quad (3.27)$$

### 3.3.1 – Geradores de corrente alternada(Lei de indução de Faraday)

A figura 3.10, apresenta um gerador de corrente alternada, que consiste em um enrolamento de área( $A$ ) e número de voltas( $N$ ), girando em um campo magnético. As extremidades do enrolamento estão conectadas a anéis, chamados de anéis de deslizamento, que giram com o enrolamento. Elas fazem contato elétrico através de escovas estacionárias condutoras que estão em contato com os anéis.(TIPLER, 2006)

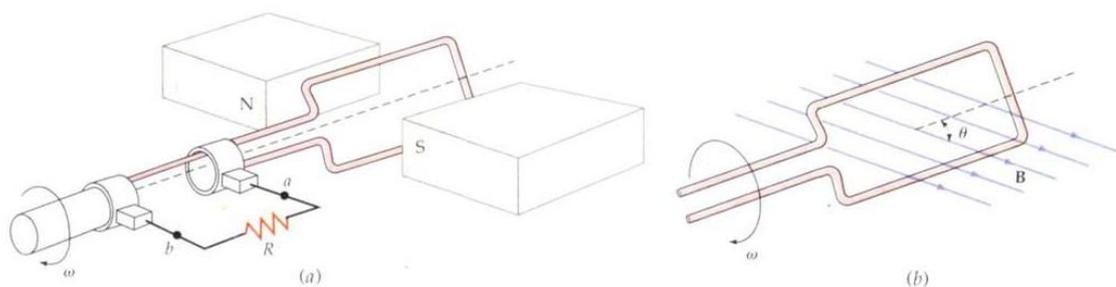


Figura 3.10 - Gerador de CA(TIPLER, 2006)

Quando a normal ao plano do enrolamento faz um ângulo  $\theta$  com um campo magnético uniforme  $\vec{B}$ , como apresentado na figura 3.10, o fluxo magnético através do enrolamento é, (TIPLER, 2006)

$$\phi_m = \int_S \vec{B} \cdot \hat{n} \, dA = B \cdot N \cdot A \cos \theta \quad (3.28)$$

Quando  $\theta$ ,

$$\theta = \omega t + \delta \quad (3.29)$$

$\omega$  = Velocidade angular,

$\delta$  = Ângulo inicial

Substituindo " $\theta$ " da equação 3.28, tem-se na equação 3.29

$$\phi_m = B N A \cos(\omega t + \delta) \quad (3.30)$$

A Lei de Faraday, implica então que a força eletromotriz será então, (TIPLER, 2006)

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_m}{dt} = -BNA \frac{d}{dt} \cos(\omega t + \delta) \quad (3.31)$$

Derivando com relação ao tempo, tem-se (TIPLER, 2006)

$$\varepsilon = +BNA\omega \text{sen}(\omega t + \delta) \quad (3.32)$$

onde  $BNA\omega$  é o pico(máximo) da força eletromotriz. Assim (TIPLER, 2006)

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{máx}} \text{sen}(\omega t + \delta) \quad (3.33)$$

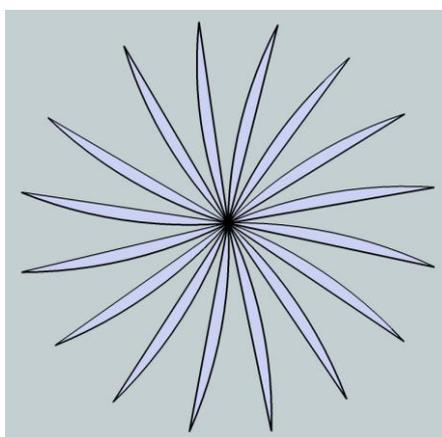
## CAPÍTULO 4 – IMPLEMENTAÇÃO

### 4.1 – Protótipo

O protótipo desenvolvido é um sistema que permite a geração de energia elétrica pela força cinética de um fluxo de água. Para simulação do fluxo de água, foi utilizado uma mangueira convencional. Para simulação de uma turbina, foi utilizada uma ventoinha de motor com a pá de 15,5 centímetros aproximadamente. Junto com a turbina dois rolamentos para que o eixo seja fixo. O eixo foi parafusado e a turbina mantém rotação em torno deste. Acoplado a turbina encontra-se uma coroa dentada de bicicleta, que terá o motivo posteriormente explicado, com 46 dentes. Esses elementos citados acima estão em contato direto com o fluxo de água. Acima e fora do fluxo da água, encontra-se outra coroa dentada, com 18 dentes e um gerador para transformar a energia cinética em energia elétrica por meio de indução eletromagnética.

Para fins de implementação deste projeto o gerador está fora de contato com água, ou com pouco contato, para não ter perigo de danificar. Caso o mesmo fosse ser colocado em contato direto ou submerso na água seria necessário uma blindagem, que dificultaria e encareceria os custos do projeto. Além disso, não foi encontrado empresa com este fim.

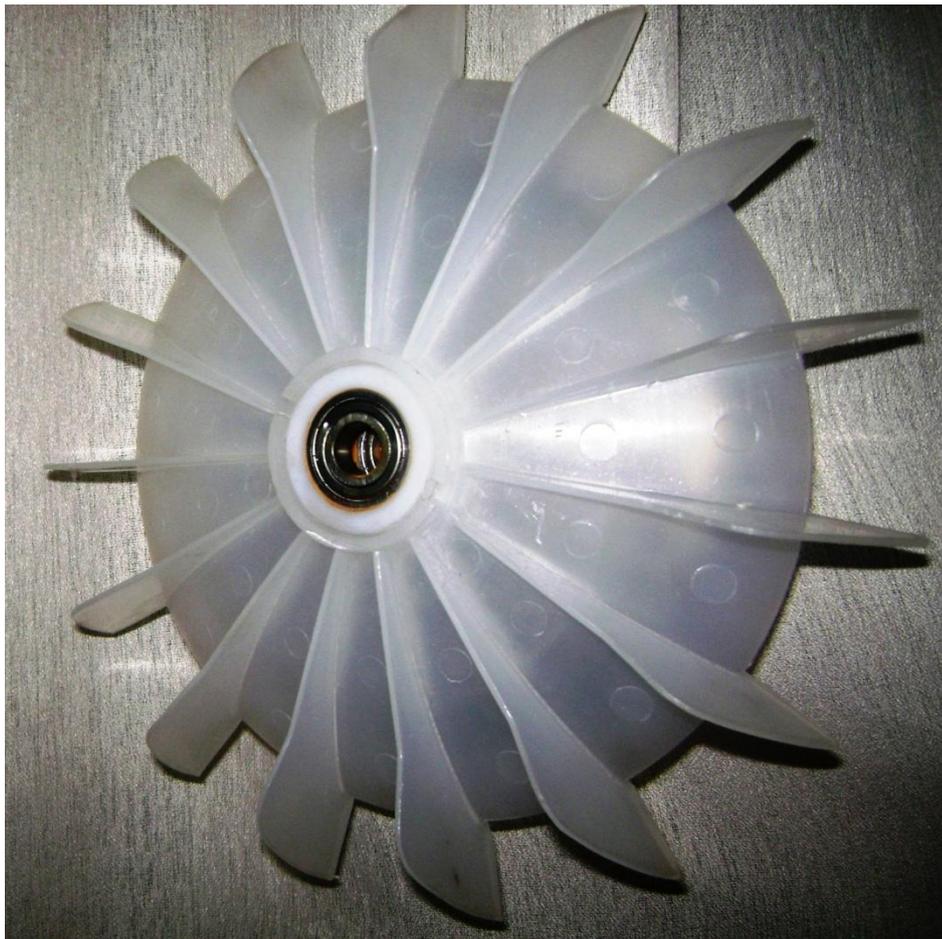
Na figura 4.1, pode ser visualizado a turbina como foi planejada. A mesma não foi utilizada como foi planejada pois as empresas de torno que foram contatadas não quiseram confeccioná-la devido aos seguintes motivos, dificuldade de confecção em precisão da turbina, tiragem baixa de peças e custo que não podia ser elevado, portanto esses foram os motivos que levaram a utilização da turbina ilustrada nas figuras 4.2 e 4.3.



**Figura 4.1 - Planejamento turbina**

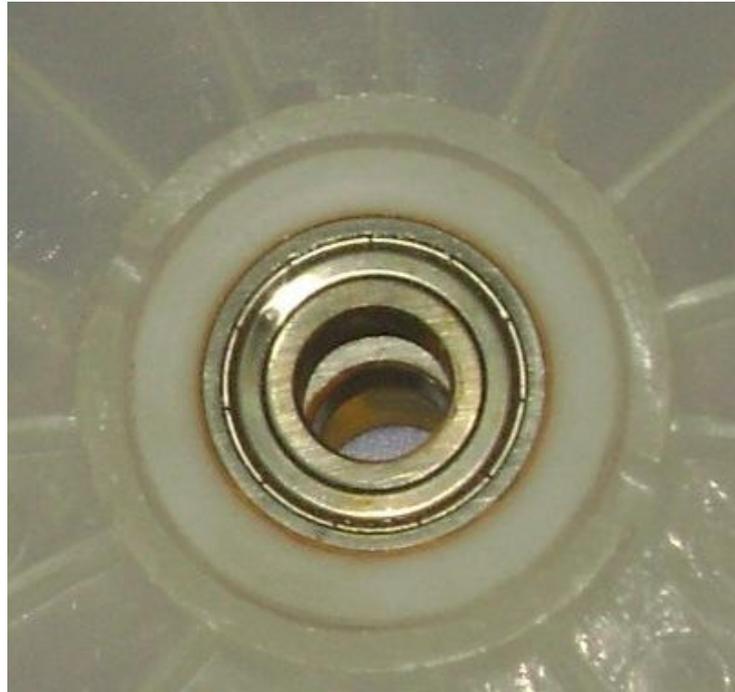


**Figura 4.2 - Turbina encontrada**



**Figura 4.3 - Turbina encontrada 2**

Na figura 4.4, pode se observar o rolamento que foi utilizado no projeto. Os rolamentos são mecanismos mecânicos que reduzem o desgaste das peças em rotação, pois reduzem a superfície em atrito.



**Figura 4.4 - Rolamento**

Na figura 4.5, observa-se o eixo. O mesmo foi projetado para se encaixar perfeitamente no rolamento e com uma pequena folga para o encaixe do mesmo, como visualizado na figura 4.6. O eixo foi feito de aço maciço, que é um material bem resistente, com aproximadamente 48 centímetros de comprimento e com 1,5 centímetro de diâmetro. Com esse diâmetro torna-se possível resistir a todas as tensões que são aplicadas.



**Figura 4.5 - Eixo**



**Figura 4.6 - Rolamento acoplado ao eixo**

Na figura 4.7, pode-se observar a coroa que está acoplada a turbina. Esta coroa é quase do tamanho da turbina, como observa-se abaixo e contém 46 dentes.



**Figura 4.7 - Coroa maior**

Pode-se observar na figura 4.8 a coroa menor acoplada ao gerador. A coroa menor tem 18 dentes.



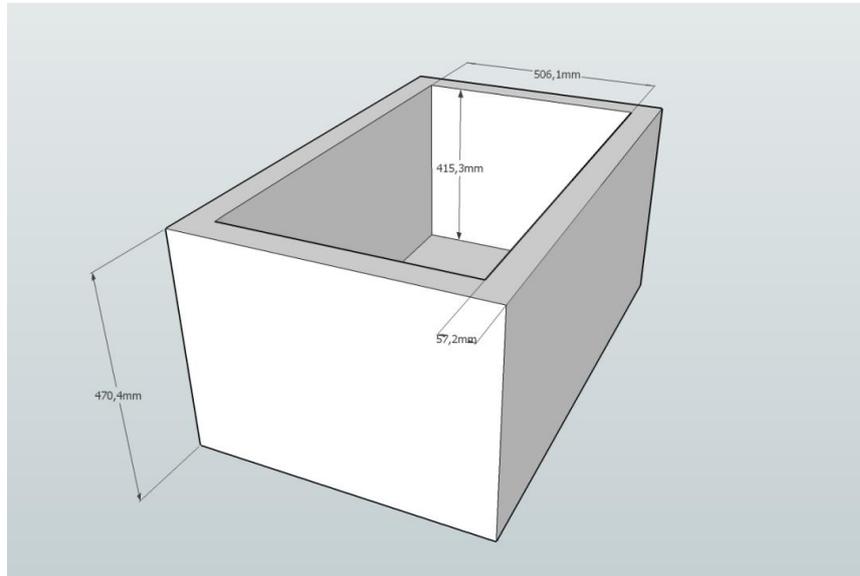
**Figura 4.8 - Coroa menor**

Na figura 4.9, observa-se em destaque o gerador, que é um dos principais elementos deste projeto. Foi utilizado um gerador da marca “WEG”, modelo “1RC/20”. Este modelo pode ser utilizado com a corrente máxima em 0,55 Amperes. Tem um máximo de 6000 rotações por minuto e contém uma excelente relação de 0,02 Volts gerados a cada rotação por minuto.



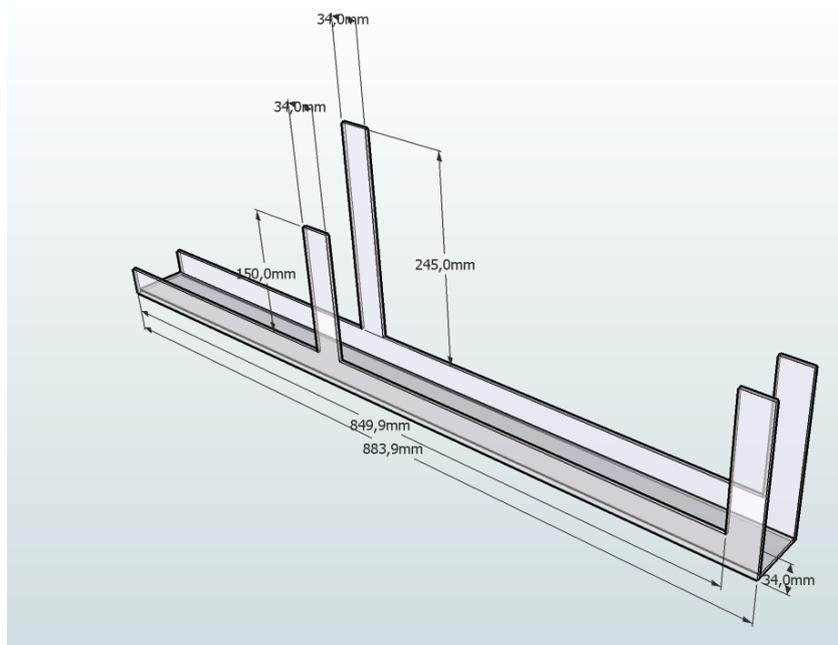
**Figura 4.9 - Gerador**

Na figura 4.10, observa-se modelo “3D” da caixa de isopor desenhado. O isopor foi escolhido para este fim pois resiste a altas pressões de água e caso fosse necessário ele poderia ser furado.



**Figura 4.10 - Isopor 3D**

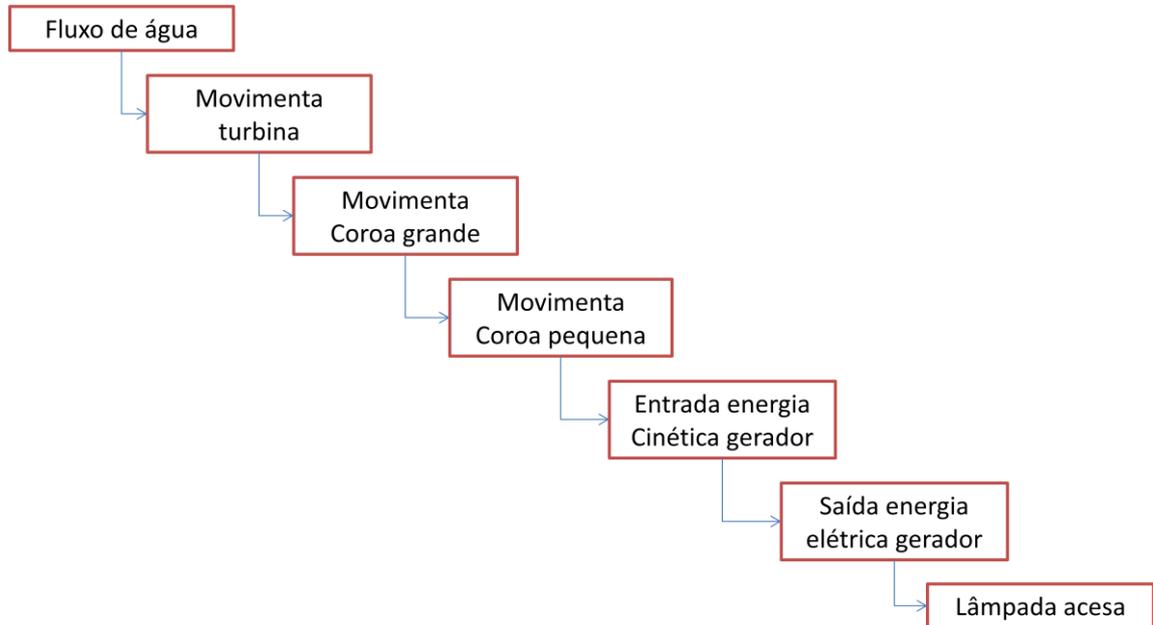
As peças que estão segurando o eixo e o gerador, foram dimensionadas com base na caixa de isopor utilizada. Segue figura 4.11 em “3D” do suporte de eixo.



**Figura 4.11 - Planejamento suporte eixo**

## 4.2 – Descrição do funcionamento e implementação

Para melhor ilustração do funcionamento do projeto, segue fluxograma:



**Figura 4.12 - Fluxograma**

Quando a água entra em contato com a turbina, gera energia cinética de rotação na mesma e por consequência gira a coroa maior que está acoplada a ela, conforme observa-se na figura 4.13. É importante ressaltar que o eixo foi projetado para estar fixo, ou seja, não acompanha as rotações.



**Figura 4.13 - Eixo e turbina acoplados**

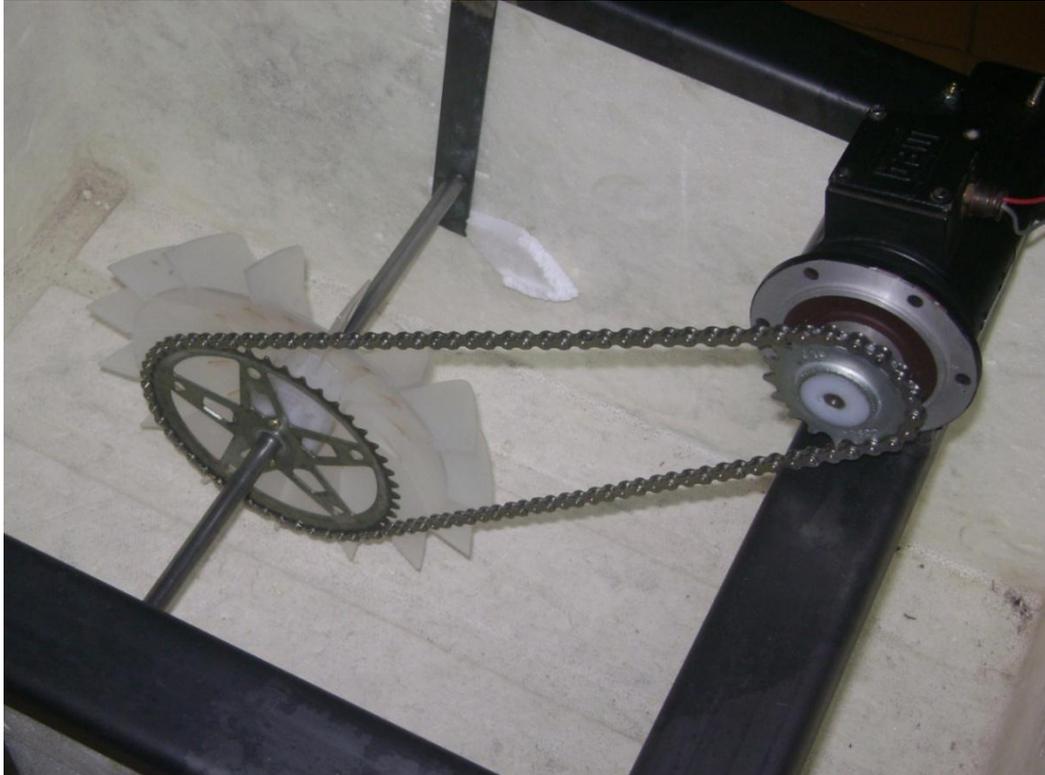
O dispositivo mecânico, foi uma maneira encontrada para otimizar as rotações da turbina para o gerador. Para entendimento do dispositivo ressalta-se que a coroa que está acoplada a turbina contém 46 dentes. A coroa acoplada ao gerador contém 18 dentes. Devido a diferença de dentes entre as mesmas, observa-se a transmissão de movimento circular conforme explicado no item 3.2.3 do capítulo 3. Na equação 4.1, observa-se a seguinte relação entre as duas:

$$\frac{\text{Quantidade de dentes da coroa maior}}{\text{Quantidade de dentes coroa menor}} = \frac{46}{18} \cong 2,55 \quad (4.1)$$

O que significa afirmar que para cada 1 volta da coroa grande(a que está embaixo acoplada com a turbina), a pequena(que está acima acoplada ao gerador) dará 2,55 voltas. Este mecanismo permitiu otimizar mais que dobrando a quantidade de voltas no gerador. Caso o gerador estivesse já acoplado a turbina, esta otimização não seria possível. A ligação entre as coroas é feita por uma corrente, que foi retirada de uma bicicleta.

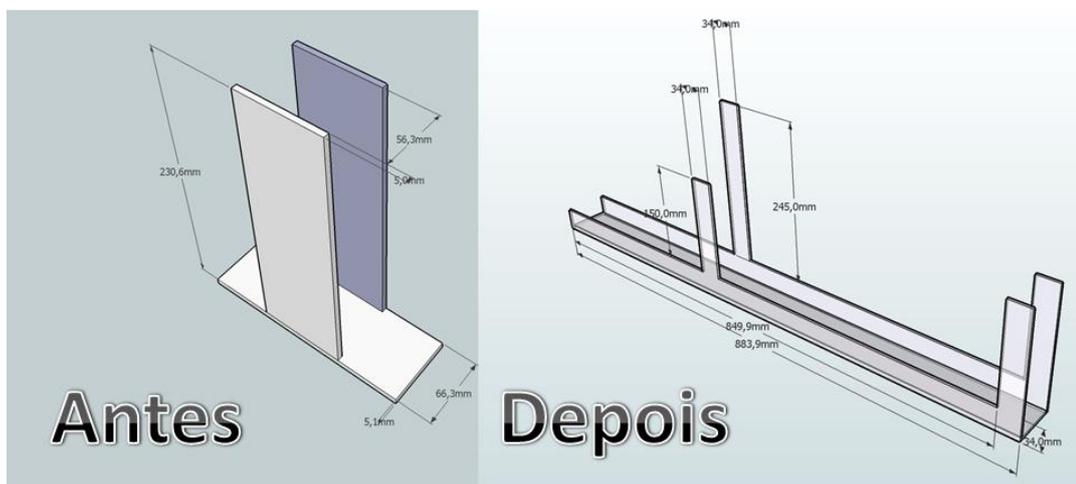
Para a coroa grande e a pequena serem acopladas na turbina e no gerador, respectivamente, foi necessário a confecção de peças de nylon em um torno, de maneira que não existissem folgas, pois as mesmas poderiam atrapalhar no funcionamento geral do protótipo, aliás, é importante ressaltar que esta preocupação não existiu só nas coroas, mas também no gerador com relação ao eixo de fixação, no eixo da turbina e nos dispositivos que estão segurando os eixos.

A força cinética gerada na turbina chega otimizada ao gerador, que é o grande responsável pela transformação dela em energia elétrica. Este foi acoplado a um eixo de sustentação para manter a coroa que está acoplada a ele na angulação e posição correta com relação a coroa da turbina. Como pode-se observar na figura 4.14:



**Figura 4.14 - Acoplamento**

No momento em que necessitava-se de mandar fazer as peças de suporte, observou-se que existiria problema com o momento, pois existem forças normais na coroa da turbina e na coroa do gerador e a peça poderia sofrer tendências de giro. Então modificou-se a maneira do projeto para as peças de suporte terem extensão maior diminuindo a possibilidade de rotação, como mostra a ilustração em “3D”, na figura 4.15. As peças foram feitas em uma serralheria, pois precisariam de ferramentas para corte e solda de metais e as mesmas são caras e de difícil acesso.



**Figura 4.15 - Comparação entre eixos**

### 4.3 – Desafios na construção do protótipo

O primeiro desafio na implementação deste protótipo foi a compra do gerador. Precisava-se de um gerador com uma boa relação de tensão por rotação, por isso o primeiro gerador escolhido foi um pequeno dínamo, comum em bicicletas, mas sabendo de sua limitação, também adquiriu-se um gerador maior e com melhor relação de tensão por rotação, que foi utilizado.

O segundo desafio da implementação foi o aquário que inicialmente seria utilizado de vidro com espessura grossa. No momento que estava dimensionando para mandar fazer, descobriu-se que em outro projeto que estava utilizando o vidro, quando foi exposto a grande pressão de água, quebrou. Dando início então a busca pelo material mais adequado, pois estava-se em dúvida entre madeira, acrílico e o isopor. Depois de reflexões e conversas com orientador cheguei a conclusão de que o isopor seria melhor pois já era vendido pronto, os outros materiais teriam que ser projetados e confeccionados.

A busca da turbina foi um ponto de grande dificuldade no projeto. As empresas de torno não estavam aceitando o serviço de confecção da turbina, devido a grande dificuldade para desenhar, confeccionar e pouca utilidade para a empresa, pois provavelmente só fariam aquela peça uma vez. Então todas as empresas encontradas de torno recusaram a fazer a turbina. Como as empresas não aceitavam o projeto, a maneira que encontrou-se para driblar esse problema foi buscando algo que já tinha alguma turbina pronta para qualquer utilidade específica, como por exemplo, um ventilador, um carburador de carro ou outro. Neste momento, andando por uma empresa de motores foi encontrada uma turbina de refrigeração de motor que acabou sendo utilizada.

## CAPÍTULO 5 – TESTES E RESULTADOS

Foram realizados vários testes antes da contabilização e cronometragem, com o intuito de aferir a melhor posição da mangueira com relação à turbina, do melhor ângulo do gerador com relação ao eixo da turbina, do melhor sentido de rotação da turbina, do sentido de rotação do gerador e da corrente com relação ao eixo do gerador. Verificou-se que a melhor posição da mangueira com relação a turbina seria com altura um pouco acima da mesma e formando quase um ângulo de 90° com relação ao eixo da turbina. Observou-se que a angulação do gerador em seu eixo é importante pois diminui ou aumenta a tensão da corrente nas coroas, tornando mais pesado ou leve, respectivamente, a tendência de giro da turbina. Para a configuração ideal, o gerador foi inclinado em torno de 30° graus. Com relação ao sentido de rotação da turbina, não se observou perda de tensão no gerador, mas verificou-se que seria melhor em direção contrária ao gerador para diminuir a quantidade de água que entra em contato com o mesmo. Exceto pelos posicionamentos relatados, os demais não interferiram sensivelmente os testes.

Após a melhor configuração encontrada, começou a realização dos testes, com cronometragem e contabilização dos resultados. Foram realizadas quatro baterias de testes do instante 0 até 50 segundos. Como era necessário a utilização de uma mangueira de água foi realizada a tentativa de mantê-la sempre na mesma posição, para não interferir nos resultados. Pode-se observar na tabela 1 e gráfico 1.

Instantes (segundos)	Tensão em cada baterias(V)			
	1ª bateria	2ª bateria	3ª bateria	4ª bateria
5	6,0	6,8	7,5	6,0
10	6,2	6,8	6,9	6,4
15	5,8	6,7	7,1	6,5
20	6,1	6,7	7,1	7,0
25	6,5	6,9	7,4	6,7
30	7,0	7,0	6,5	6,2
35	6,0	6,8	7,2	6,5
40	6,1	6,4	7,0	6,1
45	6,5	6,9	7,2	5,9
50	6,8	7,0	7,0	6,5

**Tabela 1 - Dados dos testes**

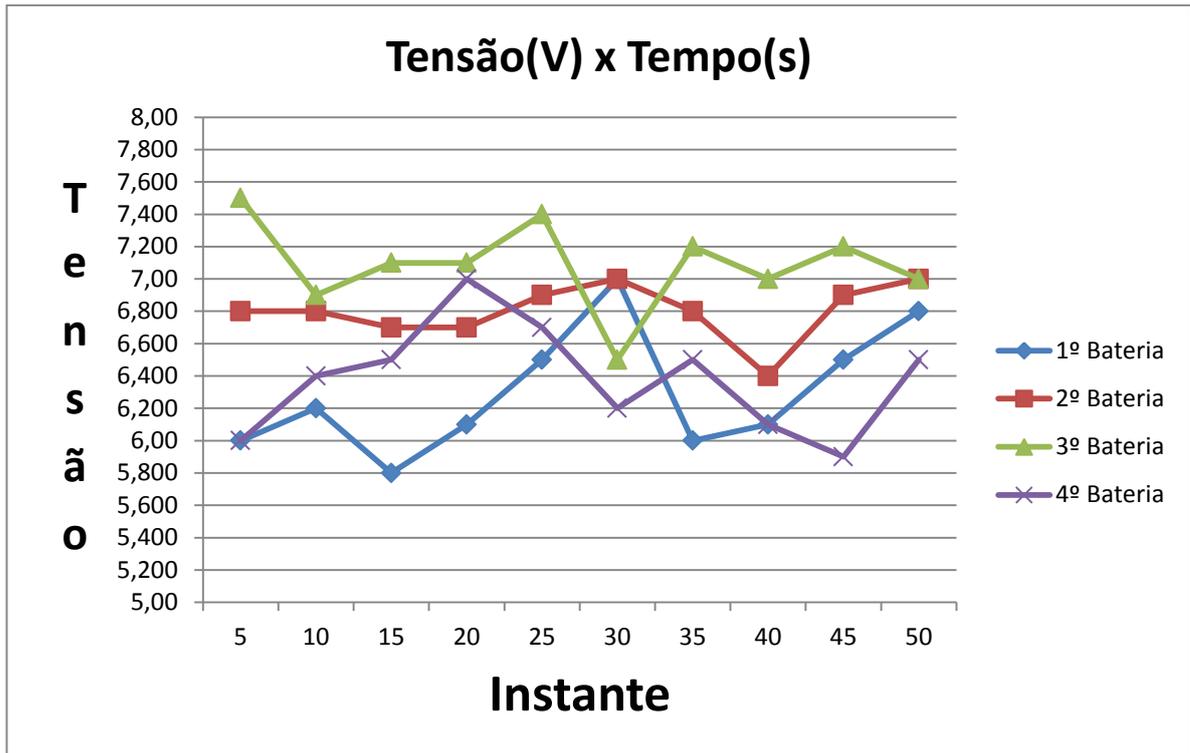


Gráfico 1 - Tensão x tempo

Para melhor análise, observar a tabela 2, que é a estatística dos valores da tabela 1.

		1ª bateria	2ª bateria	3ª bateria	4ª bateria
E S T A T Í S T I C A	Máximo(V)	7,0	7,0	7,5	7,0
	Mínimo(V)	5,8	6,4	6,5	5,9
	Média(V)	6,3	6,8	7,1	6,4
	Desvio Padrão	0,4	0,2	0,3	0,3

Tabela 2 - Estatística dos dados

Ao analisar os dados estatísticos verifica-se que, na 3ª bateria encontra-se o maior máximo e o maior mínimo, portanto foi a melhor bateria em termos de energia gerada. A 2ª bateria apresentou uma boa regularidade com o menor desvio padrão entre elas. A 1ª e a 4ª bateria de testes se mostraram regularidade entre elas, tendo o mesmo máximo, quase o mesmo mínimo, quase a mesma média e uma pequena diferença no desvio.

Vários motivos interferiram para a diferença entre estas baterias de testes. Entre estes, o principal motivo se deu pela variação de pressão e velocidade na água da residência onde os testes foram realizados.

Na tabela 3, observa-se a frequência da turbina e do gerador, em RPM's, para a tensão nos instantes pré-selecionados.

Instante (seg)	1ª bateria de testes			2ª bateria de testes			3ª bateria de testes			4ª bateria de testes		
	Tensão	RPM Turbina	RPM Gerador									
5	6,0	117,6	300,0	6,8	133,3	340,0	7,5	147,1	375,0	6,0	117,6	300,0
10	6,2	121,6	310,0	6,8	133,3	340,0	6,9	135,3	345,0	6,4	125,5	320,0
15	5,8	113,7	290,0	6,7	131,4	335,0	7,1	139,2	355,0	6,5	127,5	325,0
20	6,1	119,6	305,0	6,7	131,4	335,0	7,1	139,2	355,0	7,0	137,3	350,0
25	6,5	127,5	325,0	6,9	135,3	345,0	7,4	145,1	370,0	6,7	131,4	335,0
30	7,0	137,3	350,0	7,0	137,3	350,0	6,5	127,5	325,0	6,2	121,6	310,0
35	6,0	117,6	300,0	6,8	133,3	340,0	7,2	141,2	360,0	6,5	127,5	325,0
40	6,1	119,6	305,0	6,4	125,5	320,0	7,0	137,3	350,0	6,1	119,6	305,0
45	6,5	127,5	325,0	6,9	135,3	345,0	7,2	141,2	360,0	5,9	115,7	295,0
50	6,8	133,3	340,0	7,0	137,3	350,0	7,0	137,3	350,0	6,5	127,5	325,0

Tabela 3 - Instante x RPM

Verifica-se em comparação, que para cada volta na turbina, as voltas do gerador são mais que dobradas, devido ao dispositivo de transmissão de movimento circular, implementado no projeto. Para melhor visualização do dispositivo, visualiza-se o gráfico 2 abaixo e para efeito de exemplo foi selecionada a 3ª bateria de testes.

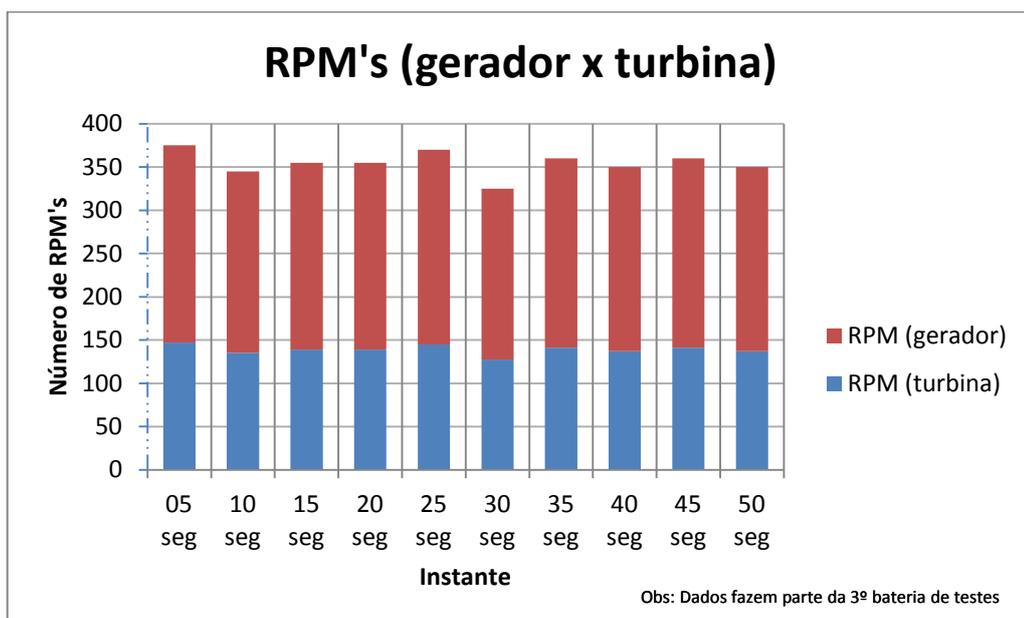


Gráfico 2 - RPM's[geradorxturbina] (Autor)

Os dados do gráfico 2 foram retirados para ilustração e melhor entendimento da 3ª bateria de testes, portanto, observa-se que para cada rotação da coroa que está acoplada à turbina (coroa grande), tem-se um ganho na coroa do gerador (coroa pequena), garantindo assim 2,55 rotações na pequena. As rotações da coroa da turbina e do gerador estão ilustradas respectivamente nas barras azuis e vermelhas, onde possibilita-se visualizar o ganho mencionado.

A potência do gerador torna-se possível calcular quando coloca-se algum material resistivo em série, pois até então não existe corrente.

A potência pode ser calculada pela equação 5.1, que encontra-se abaixo:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (5.1)$$

Onde,

P = Potência(watts)

V = Tensão(volts)

R = Resistência(ohms)

Utilizando a equação 5.1 e alguns valores de resistências comerciais, observa-se na tabela 4 a potência no gerador. A tensão que apresenta-se no gráfico foi retirada do valor máximo das baterias de testes:

Tensão(v)	Resistência( $\Omega$ )	Potência(w)
7,5	0,1	562,5
7,5	1	56,25
7,5	10	5,625
7,5	100	0,563
7,5	1K	0,056

**Tabela 4 - Potência**

Todos os testes realizados no projeto para a busca dos objetivos, foram analisados de acordo com a proposta inicial do projeto e mostraram-se satisfatórios mesmo com a pequena voltagem gerada no final.

Nas figuras 5.1 e 5.2, pode-se visualizar o protótipo final de transformação da energia cinética de um fluxo de água em energia elétrica em funcionamento.



**Figura 5.1 - Projeto em testes**

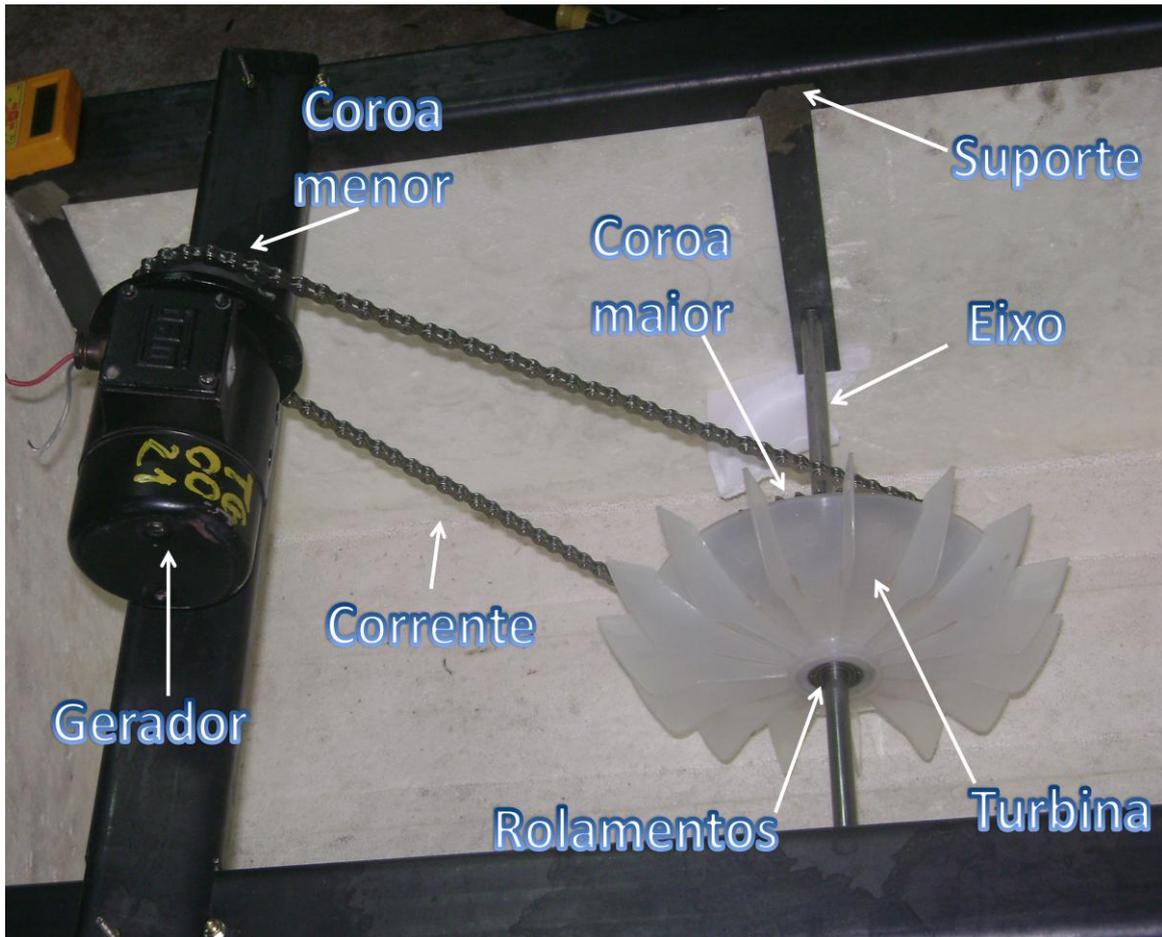


Figura 5.2 - Projeto final

## CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO

### 6.1 - Conclusões

Este projeto teve como finalidade a geração de energia elétrica a partir da energia cinética de um fluxo de água, onde o principal objetivo do protótipo foi demonstrar que com um pequeno fluxo de água pode-se alcançar o objetivo e apresentar o conceito de melhoria com o dispositivo mecânico.

Após os testes realizados, conclui-se que os objetivos foram alcançados com sucesso, mesmo ocorrendo alguns imprevistos no sistema mecânico de transmissão de energia, na oscilação da tensão e na amplitude da mesma.

Conclui-se que os imprevistos mecânicos poderiam ser resolvidos com algum dispositivo para evitar que a corrente ligada as coroas, escape. Seria possível trabalhar com polias e correias dentadas, que otimizariam o projeto. E aumentando a coroa da turbina e reduzindo a coroa do gerador, poderia ter uma melhor relação de tensão a cada rotação. Conclui-se também que em um ambiente real fica evidente que a tensão oscilaria tanto ou até mais do que no protótipo, devido a oscilação de pressão e velocidade do fluxo de água em rios, cachoeiras, mar, escoamentos caseiros e outros.

A turbina captou a energia cinética do fluxo da água e transformou em energia rotacional da maneira esperada. A transmissão de movimento circular, apresentou resultado melhor que o esperado. O gerador se comportou da maneira adequada e esperada, apesar de que o modelo escolhido não era o melhor possível para este fim. No mercado, existem geradores com melhor relação de tensão a cada rotação.

Conclui-se que este projeto funcionaria muito bem em escoamentos residenciais e em cachoeiras. Para outras utilizações seriam necessários mais alguns dispositivos para otimização e personificação, como por exemplo as outras partes de uma turbina que não foram desenvolvidas.

Portanto, os resultados atenderam as propostas e objetivos estipulados para este trabalho e o protótipo encontra-se em funcionamento.

## 6.2 - Sugestões para Trabalhos Futuros

Apesar deste protótipo estar funcionando dentro do que era esperado, existem algumas melhorias que poderiam ser realizadas.

Como proposta para trabalhos futuros pode-se utilizar um banco de capacitores para armazenamento da energia que está sendo gerada.

Pode-se controlar a energia via microcontrolador de acordo com a capacidade de cada unidade de capacitor em um banco de capacitores, para não permitir que nenhum estrague por sobrecarga.

Pode-se utilizando microcontrolador, apresentar alguns relatórios, gravar em banco de dados os resultados, pois estes dados são importantes para análise.

Pode-se utilizar medidores precisos para controle, como por exemplo medidor de rotações por minuto na turbina, velocidade do escoamento e outros controles.

Criação da parte civil e utilização do projeto em um dos locais possíveis, como por exemplo em um sistema de captação de águas pluviais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BISQUOLO, Paulo Augusto; **Movimento circular uniforme – Velocidade angular e transmissão**. Disponível em ([educacao.uol.com.br/fisica/ult1700u13.jhtm](http://educacao.uol.com.br/fisica/ult1700u13.jhtm)). Acessado em Outubro de 2010.

BORGES, Frederico; **Transmissão do movimento circular**. Equipe Brasil Escola. Disponível em ([www.brasilecola.com/fisica/transmissao-movimento-circular.htm](http://www.brasilecola.com/fisica/transmissao-movimento-circular.htm)). Acessado em Outubro de 2010.

BRASIL ESCOLA, Notícia 2009; **Apagão**. Disponível em ([www.brasilecola.com/historiab/apagao.htm](http://www.brasilecola.com/historiab/apagao.htm)). Acessado em Agosto de 2010.

CARNEIRO, Daniel Araújo; Portal **PCH – Pequenas Centrais Hidroelétricas**. Disponível em ([www.portalpch.com.br](http://www.portalpch.com.br)). Acessado em Outubro de 2010.

CERPCH; **Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Disponível em ([www.cerpch.unifei.edu.br](http://www.cerpch.unifei.edu.br)). Acessado em Setembro de 2010.

CERVINSKI, Gilberto; Entrevista para o periódico **Meio Ambiente Brasil**, data 18 de Agosto de 2005. Disponível em ([www.noticias.ambientebrasil.com.br/entrevistas/2005/09/18/20866-entrevista-exclusiva-gilberto-cervinski.html](http://www.noticias.ambientebrasil.com.br/entrevistas/2005/09/18/20866-entrevista-exclusiva-gilberto-cervinski.html)). Acessado em Agosto de 2010.

COSTA, Paulo Almeida; **Turbinas – As máquinas primárias**. Escola Superior de Tecnologia de Viseu, 1999. Disponível em ([www.estv.ipv.pt](http://www.estv.ipv.pt)). Acessado em Outubro de 2010.

FOX, Robert; McDonald, Alan; Pritchard, Philip; **Introdução a mecânica dos fluidos**. Rio de Janeiro, LTC, 2006.

IEO, United States Energy Information Administration; **International Energy Outlook 2010**. Disponível em ([www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html)). Acessado em Setembro de 2010.

INFO, InfoEscola; Usina Hidrelétrica, publicado em Setembro de 2008. Disponível em ([www.infoescola.com/energia/usina-hidreletrica/](http://www.infoescola.com/energia/usina-hidreletrica/)). Acessado em Setembro de 2010.

JÚNIOR, Mário César Machado; **Turbinas hidráulicas e a vapor**. CSTSE, Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Energia. Disponível em ([www.webartigos.com/articles/32834/1/TURBINAS/pagina1.html](http://www.webartigos.com/articles/32834/1/TURBINAS/pagina1.html)). Acessado em Setembro de 2010.

LIMA, Shigeaki Leite; Saavedra, Osvaldo R.; Barros, Allan Kardec; Camelo, Nelson José. Projeto de Usina Maremotriz do Bacanga: Concepção e Perspectiva; Abril, 2005. Disponível em ([www.seeds.usp.br/pir/arquivos/congressos/CLAGTEE2003/Papers/RNCSEP%20B-115.pdf](http://www.seeds.usp.br/pir/arquivos/congressos/CLAGTEE2003/Papers/RNCSEP%20B-115.pdf)). Acessado em Setembro de 2010.

MARTINO, G.; **Eletricidade Industrial**: Volume 1 ed. São Paulo, Hemus Editora Ltda, 1982.

MME, Ministério das Minas e Energia, **Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – Programa Luz para Todos – Manual de Operacionalização**, Ministério das Minas e Energia, Revisão 06, 2009. Disponível em ([luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Port\\_85\\_ANEXO%20DO%20MANUAL%20LPT.pdf](http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Port_85_ANEXO%20DO%20MANUAL%20LPT.pdf)). Acessado em Setembro de 2010.

MPOG, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Clipping: Seleção de Notícias, publicada em Julho de 2010**. Disponível em ([clippingmp.planejamento.gov.br/cadastros/noticias](http://clippingmp.planejamento.gov.br/cadastros/noticias)). Acessado em Agosto de 2010.

NETO, Luiz Ferraz; **Aceleração centrípeta no movimento circular uniforme, 2008**. Disponível em ([www.feiradeciencias.com.br](http://www.feiradeciencias.com.br)). Acessado em Outubro de 2010.

ONS, Operadora Nacional de Serviço. Disponível em ([www.ons.org.br/educativo](http://www.ons.org.br/educativo)). Acessado em Setembro de 2010.

PESQUISA, Portal de pesquisas acadêmicas e científicas. Energias Alternativas, 2010. Disponível em ([www.suapesquisa.com](http://www.suapesquisa.com)). Acessado em Setembro de 2010.

POTTER, Merle C.; SCOTT, Elaine. P. Ciências **Térmicas: Termodinâmica, Mecânica dos fluidos e Transmissão de Calor**. São Paulo, Pioneira Thomson Learning, 2006.

PROCLIMA, Programa Estadual de Mudanças Climáticas, São Paulo. **Energias Renováveis**, 2009. Disponível em ([homologa.ambiente.sp.gov.br/proclima/publicacoes/publicacoes\\_portugues/energias\\_renovais\\_abrava.pdf](http://homologa.ambiente.sp.gov.br/proclima/publicacoes/publicacoes_portugues/energias_renovais_abrava.pdf)). Acessado em Setembro de 2010.

SUPER, Revista Superinteressante, exemplar número 12, 2º ano, Dez 1998. Disponível em ([www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/meio-ambiente-energia-das-mares/energia-das-mares-6.php](http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/meio-ambiente-energia-das-mares/energia-das-mares-6.php)). Acessado em Setembro de 2010.

TEIXEIRA, Odete Pacubi Baiarl; Cindra, José Lourenço; Monteiro, Marco Aurélio Alvarenga; Amarante, André Ricardo Soares; **Mecânica dos fluidos: algumas considerações sobre a viscosidade**, XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2005. Disponível em ([www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/t0625-2.pdf](http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/t0625-2.pdf)). Acessado em Outubro de 2010.

TIPLER, Paul A. **Física: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica**: Volume 1. 4 ed. Rio de Janeiro, LTC, 2000.

TIPLER, Paul A. **Física: Eletricidade e Magnetismo, Ótica**: Volume 2. 5 ed. Rio de Janeiro, LTC, 2006.