



**XX SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO – I

GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA – GGH

METODOLOGIAS PARA A IMPLANTAÇÃO DE TURBINAS HIDROcinÉTICAS NA AMAZÔNIA

**Carmo Gonçalves
ELETRONORTE**

**Osmar Possamai
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**Antonio Brasil C. Pinho Junior
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

RESUMO

Este trabalho apresenta um modelo dinâmico sobre a utilização das unidades hidrogeradoras hidrocínéticas, em doze etapas, contendo os procedimentos básicos e essenciais para facilitar a gestão e a implantação do sistema hidrocínético de geração e transmissão de energia elétrica para comunidades isoladas ribeirinhas, principalmente na região Amazônica. Alicerçado por ferramentas metodológicas da qualidade e em experiências adquiridas em projeto piloto, as etapas do modelo proposto são compostas por recomendações e diretrizes que auxiliam desde o reconhecimento do local até a instalação e comissionamento da unidade. Este trabalho pretende difundir a cultura e receber o *feedback* de empresas participantes neste seminário.

PALAVRAS-CHAVE

Turbina, Hidrocínética, Região Amazônica, Pesquisa e Desenvolvimento, Eletronorte

1.0 - INTRODUÇÃO

As crescentes exigências ambientais para a expansão do potencial hidroenergético brasileiro, os elevados índices de poluição ambiental e o elevado custo da geração térmica a diesel, têm levado a busca de fontes alternativas para a geração de energia elétrica, mesmo para os pequenos pacotes destinados às pequenas comunidades isoladas. Das comunidades isoladas, destacam-se as ribeirinhas da região Amazônica, que normalmente têm como fonte de recursos a floresta e o rio, e que vivem a contradição de um precário abastecimento de energia elétrica, ou as escuras, o que promove um estado degradante de pobreza e baixo desenvolvimento, contribuindo para a migração dos seus habitantes para as sedes dos municípios e para as capitais dos seus Estados, contribuindo com o avanço das mazelas sociais locais.

O alto custo dos combustíveis fósseis, as dificuldades da manutenção dos motores de combustão interna e do transporte, para o atendimento de comunidades isoladas na Amazônia, o alto custo dos painéis fotovoltaicos, associado ao seu baixo fator de capacidade, as dificuldades da utilização da biomassa local até o presente, e em algumas situações as linhas de transmissão de alta tensão passando nas proximidades destes vilarejos sem poder atendê-los, a responsabilidade social e ambiental, são fatores que estão contribuindo para que a Eletronorte, empresa cidadã, se interesse pelas turbinas hidrocínéticas, especialmente a de geração III, que estão sendo desenvolvidas em parceria com o Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília, por intermédio de projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e que encontram-se com o registro de patente solicitado.

A turbina hidrocínética, que converte a energia cinética dos rios em hidroeletricidade, não requer a construção de barragens, e tão pouco emite qualquer tipo de poluente, é uma das importantes alternativas para o fornecimento de energia elétrica para as comunidades isoladas ribeirinhas, entretanto a sua implantação requer alguns requisitos básicos e avaliações preliminares, que serão tratados neste trabalho. O desenvolvimento da tecnologia da turbina

hidrocinética no Brasil iniciou-se nos anos 80, embora ao longo deste tempo, novos conceitos e concepções de projetos tenham sido agregados a este equipamento, a sua aplicação no Brasil ainda é tímida, com apenas alguns projetos pilotos. Com o objetivo de contribuir para reverter este quadro, o trabalho em pauta tem como principal objetivo, o desenvolvimento de um guia metodológico para a implantação das turbinas hidrocinéticas para as comunidades isoladas ribeirinhas principalmente na região amazônica.

A metodologia proposta por este trabalho tem o cunho exploratório qualitativo, ou seja, será proporcionado uma maior familiaridade com o problema e proposta uma metodologia de implantação das hidrocinéticas, baseando-se no levantamento bibliográfico, documental, nos resultados dos poucos projetos pilotos realizados, e na experiência registrada da Eletronorte na Região Amazônica.

Com a realização deste trabalho, espera-se disponibilizar um guia metodológico, contendo as diretrizes necessárias para a implantação de turbinas hidrocinéticas principalmente na Amazônia, facilitar a gestão de implantação de turbinas hidrocinéticas, otimizar os custos de implantação, e difundir a cultura deste tipo de turbina, de forma a obter parceiros no sentido de aumentar o fornecimento de energia elétrica limpa, sustentável, e de baixo custo, e inclusive para iniciar tratativas para o desenvolvimento de um pequeno polo industrial para fabricar estes equipamentos.

2.0 - A TURBINA HIDROcinÉTICA E O PROBLEMA DE ABASTECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

A região Amazônica, grande extensão territorial, baixa densidade demográfica, dotada de grande potencial hidráulico a ser explorado para a geração de energia elétrica limpa, dotada da maior rede hidrográfica do planeta, e um amplo leque de fontes primárias renováveis de energia, com uma biodiversidade ímpar, ainda vive a contradição de um cenário precário de abastecimento de energia elétrica para as suas comunidades isoladas, Nesta região a cerca de 300 mil famílias vivem em comunidades isoladas, se o acesso a energia elétrica (www.pnud.org.br, 24/05/2006), estes números têm melhorado face ao Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – Luz para Todos, instituído pelo Decreto nº 4.873, de 11/11/2003.

A figura 1 a seguir apresenta os índices percentuais da exclusão elétrica dos domicílios rurais, por Região

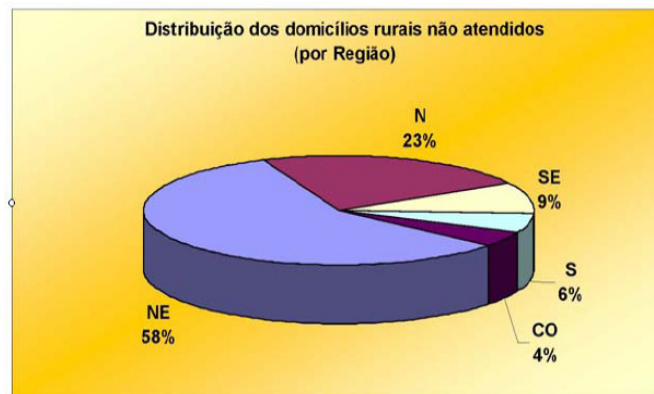


Figura 1 – Índices percentuais da exclusão elétrica dos domicílios rurais, por Região (anexo a portaria 288 de 17/10/2007 – Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – Manual de Operacionalização)

O problema de abastecimento de energia elétrica, também atinge as grandes e médias comunidades isoladas onde o custo de geração termelétrica a óleo diesel chegam a atingir R\$ 827,61/MWh gerado (cidade de Campinas no interior do Amazonas), o que torna esta geração totalmente inviável sem o subsídio do Governo Federal. As interligações do Estado do Amazonas (margem esquerda do rio Amazonas) e do Estado do Amapá, ao Sistema Interligado Nacional (SIN), previstas para 2012, trarão vultosa economia com a redução da CCC (Conta de Consumo de Combustível Fóssil), uma vez que, no ano de 2004, a conta CCC-Isolado, desembolsou mais de 1,5 bilhões de Reais (T&C-Amazônia, 2005), para cobertura com o consumo de combustíveis derivados do petróleo para a geração termelétrica no sistema Manaus.

Para os pequenos pacotes de energia elétrica, para as comunidades isoladas, principalmente para as ribeirinhas, a turbina hidrocinética se destaca pelos seguintes motivos:

- Tecnologia totalmente nacional;
- Fácil fabricação;
- Robustez e durabilidade;
- Facilidades de manutenção e operação;
- Facilidade de transporte;
- Facilidade de instalação (permite instalação na margem do rio ou sobre um flutuador estaiado, que admite variações de níveis d'água em danificar a turbina, e sem a necessidade de obras civis ou desvio do rio, ou seja, sem impacto ambiental);
- Utiliza a energia cinética do rio;

- Custo competitivo quando comparado com outras alternativas de fontes de energia renováveis.

Ressalta-se que as turbinas hidrocínéticas devem ser instaladas próximas aos centros de consumo, e que a profundidade do rio deve permitir uma submersão total da mesma de pelo menos 100 mm.

2.1 A Turbina Hidrocínética como Proposta de Solução

O uso da energia cinética dos rios é uma alternativa disponível para gerar energia elétrica, para as comunidades ribeirinhas, ou para outras atividades ao longo das margens dos rios, e não interferem no curso natural dos rios.

A potência a ser extraída da energia cinética dos rios, ou seja, de um fluxo de água livre, de acordo com Els et al (2001), e apresentada a seguir:

$$P_{\text{disponível}} = 0,5 \cdot K_b \cdot A \cdot \rho \cdot v^3 \quad (1)$$

Onde:

- $P_{\text{disponível}}$ é a potência máxima que uma turbina pode extrair da energia cinética de um rio segundo o modelo de Betz (W);
- K_b é o coeficiente de Betz, (potência oriunda do trabalho realizado pela força exercida pelo fluxo na área varrida pela hélice, na unidade do tempo)/(a potência do fluxo antes da hélice) = $(0,37 A v^3)/(0,625 A v^3) = 16/27 = 0,592$ (ou 59,2%);
- A é a área de secção transversal do rotor da turbina (m²);
- ρ é a densidade da água (kg/m³);
- v é a velocidade do fluido no fluxo d'água (m/s).

A energia cinética é convertida em energia mecânica pelo rotor da turbina e disponibilizada no seu eixo, donde poderá ser convertida em outras modalidades de energia, inclusive em elétrica, através de um gerador elétrico. Em 1980 o INPA (Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia), iniciou os estudos da hidrocínética com a finalidade de gerar energia elétrica, em 1985, construiu um cata-água, utilizando uma roda de um cata-vento de 4000 mm de diâmetro (Harwood, 1985), chegou a realizar testes no rio Solimões, onde teve problemas com detritos flutuantes, que inviabilizaram a continuidade dos testes, chegou a obter eficiência de 22% para a turbina.

Em 1990 o Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília, iniciou o desenvolvimento da turbina hidrocínética, com o propósito de gerar energia elétrica para as comunidades ribeirinhas. Em 1995, foi instalado um protótipo da geração I da turbina hidrocínética, no município de Correntina no Estado da Bahia, o que possibilitou o funcionamento de um posto médico na região, permitindo além da conservação de medicamentos e vacinas, até a realização de pequenas cirurgias no local, esta turbina operou de forma contínua por 10 anos. Em 2002, Els et al, publicam um artigo onde relatam a implantação de um projeto piloto, utilizando a turbina hidrocínética, para geração de energia elétrica em uma reserva extrativista do Vale do Maracá na Região Amazônica, no Estado do Amapá, que colaborou com o beneficiamento da castanha do Brasil (Castanha do Pará). Em 2005, Els et al, apresentam artigo sobre turbinas hidrocínéticas no Brasil, onde relatam as experiências da Universidade de Brasília com turbinas hidrocínéticas, bem como apresentam diferentes arranjos para estas turbinas face ao comportamento dos rios. Após a turbina de geração I foi desenvolvida a turbina de geração II, todas com geradores não submersos, como ilustradas respectivamente nas figura 2 a seguir.



FIGURA 2 – Turbina Hidrocínética Geração I (diâmetro 800 mm e 700 W) e Geração II (diâmetro de 1200 mm e 1800 W, custo de R\$ 15.000,00), Respectivamente (Els et al – 2005).

Para atender a região Amazônica, onde a variação dos níveis da lâmina d'água, podem chegar até vários metros, cobrindo toda a margem, foi necessário avançar nas pesquisas e encontrar outras formas de instalação por meio de adaptações tecnológicas específicas. A demanda dos rios da Amazônia foi atendida, por intermédio de uma tecnologia de ancoragem da turbina no leito do rio, uma proteção da turbina contra detritos flutuantes e uma estrutura flutuante que permite acompanhar a elevação ou abaixamento da lâmina d'água, e os diâmetros foram

aumentados, variando de 1500 a 2800 mm, compensando a velocidade destes rios que podem variar de 0,7 a 1,5 m/s.

Diante do quadro exposto, a Eletronorte em parceria com a UnB, desenvolveram o modelo e o protótipo da turbina hidrocínética de geração III, com o propósito de ser mais compacta, mais leve, de fácil transporte, dotada de gerador elétrico submerso do tipo bulbo. Uma vista geral tridimensional desta nova turbina é apresentada na figura 3 a seguir.

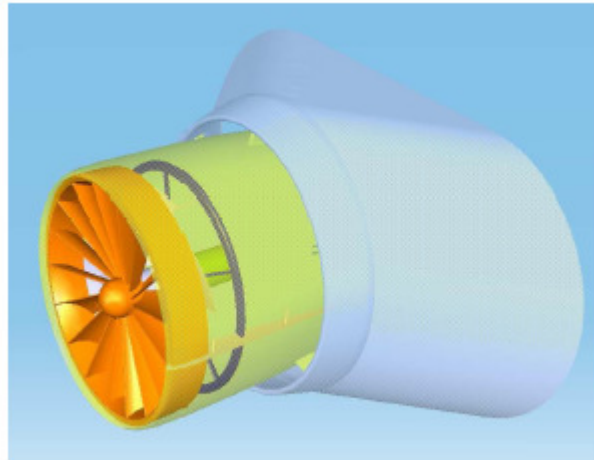


FIGURA 3 – Turbina Hidrocínética de Geração III (Brasil et al – 2006)

Dentre os parâmetros e necessidades destinados a contribuir com a implantação das turbinas hidrocínéticas, destacam-se os a seguir:

- Avaliação das condições existentes na comunidade isolada, tais como: posicionamento geográfico, recursos naturais, necessidade energética, nível de formação escolar dos seus habitantes, previsões de desenvolvimento e crescimento local;
- As principais características e o comportamento do rio, tais como: variação de nível ao longo do ano, principais cheias históricas ocorridas, velocidade do fluxo d'água, profundidades nos períodos seco e úmido, o potencial hidrocínético, as condições das suas margens e a distância do rio à comunidade isolada;
- Definir critérios e técnicas de montagem, testes, manutenção e operação das unidades hidrogeradoras hidrocínéticas e do sistema de transmissão associado.

2.2 Bases Metodológicas e Principais Parâmetros para a Implantação das Turbinas Hidrocínéticas

As principais ferramentas de apoio metodológico recomendadas para este trabalho são as a seguir:

- Diagrama de Ishikawa ou Diagrama de Causa e Efeito (Espinha de Peixe). Para este caso o macro processo é a implantação da turbina hidrocínética na Amazônia, o efeito principal é a turbina montada e as causas serão os insumos, os equipamentos necessários, os métodos de trabalho, a mão-de-obra, os instrumentos de aferição dentre outros;
- Fluxogramas. O fluxograma permitirá enumerar uma seqüência de passos importantes para a implantação da turbina hidrocínética, e também poderá ser aplicado para conhecer a comunidade, para avaliar o rio, na verificação do acesso, na seleção da turbina hidrocínética com o seu sistema de transmissão associado, nas determinações de diretrizes do processo de montagem, e no comissionamento da máquina;
- Metodologia para o Trabalho de Campo. Identificar a localidade e o perfil do centro de consumo de energia elétrica é importante, o que leva a necessidade do reconhecimento do local, com utilização de mapas, definição geográfica do local de implantação com GPS – *Global Positioning System*. Também devem ser realizadas ações objetivando, o levantamento da disponibilidade de recursos naturais, entrevistas com a população ribeirinha, registros fotográficos, levantamento do perfil de velocidade do rio, levantamento das variações de vazões e do perfil do leito do rio, levantamento das atividades básicas da comunidade, bem como, o número de habitantes e renda, verificação das vias de acesso à comunidade, verificar a infra-estrutura existente, as condições das margens do rio, a existência de linha de transmissão nas proximidades e a distância da comunidade ao rio;
- PDCA. A aplicação deste método visa o controle dos processos, por intermédio do Plan (Planejamento), Do (Execução), Check (Verificação) e Action (ação Corretiva).;
- Metodologia para Selecionar Alternativa. Após a realização dos passos já recomendados, e dimensionamento da unidade hidrogeradora, recomenda-se quantificar o custo do kW instalado e verificar

alternativas possíveis de geração de energia elétrica, tais como: sistemas fotovoltaicos, biomassa e gerador eólico. As turbinas hidrocinéticas não requerem casa de máquinas abrigadas, desvio do rio, canal adutor e barragem, e possuem um fator de capacidade próximo de 1.

Belpíade em março de 2004, para o Estado de São Paulo e fronteiras, chegou a um custo médio de 3955 US\$/kW, para geração com picos centrais hidrelétricas (centrais com potência inferiores ou iguais a 10kW, conforme resolução 394 da ANEEL de 04 de Dezembro de 1998), entretanto, para a região Amazônica estimam-se custos maiores, que dependerão fortemente da acessibilidade da comunidade, bem como da disponibilidade dos recursos naturais locais e distância do rio ao centro consumidor.

3.0 - MODELO PROPOSTO

O Modelo é composto por 12 etapas, que são apresentadas a seguir.

3.1 Etapa 1 – Localização da Comunidade Ribeirinha

Nesta etapa, posciona-se a comunidade, identificando os seus meios de acesso, a distância do município mais próximo, e recomenda-se elaborar uma planilha contendo os dados referentes a latitude, longitude, altitude, distância do município mais próximo à comunidade e o tempo de acesso do município à comunidade.

3.2 Etapa 2 – Reconhecimento do Local

Nesta etapa com o apoio da população local, recomenda-se a elaboração de um formulário de reconhecimento do local, que contemple a topografia do local, vegetação predominante, tipo de solo, provável percurso da linha de transmissão, estados das vias de acesso, tipos de edificações existentes, tipos de detritos flutuantes no rio, atividades básicas dos habitantes da comunidade e o número de habitantes da comunidade.

3.3 Etapa 3 – Levantamento das Principais Características e Recursos Naturais da Comunidade

Esta etapa contribui fortemente para a otimização dos custos do empreendimento e recomenda a utilização da matriz 5W1H, considerando tópicos tais como: o número de habitantes da comunidade; as atividades básicas da comunidade, o nível escolar dos habitantes, os tipos de edificações existentes, as necessidades básicas da comunidade, os materiais básicos como areia, pedras, madeira, existentes, e o perfil dos futuros consumidores.

3.4 Etapa 4 – Levantamento da Curva de Carga da Comunidade

Esta etapa tem por objetivo levantar a carga energética que será necessária à comunidade e fornecer informações que serão úteis para estimar a curva de carga, considerando o consumo no horário de ponta e fora de ponta, de forma a dimensionar a potência da unidade hidrogeradora a ser instalada. Ao chegar a energia elétrica em uma comunidade, o fator de utilização durante os 3 primeiros meses aumenta em torno de 20% do considerado, devido a tendência natural do crescimento do consumo e aquisição de equipamentos elétricos, devido a demanda reprimida. Com a finalidade de evitar a queda de confiabilidade no sistema de geração de energia elétrica a ser implantado, recomenda-se, considerar um fator de segurança, devido ao consumo excessivo inicial de pelo menos 30% na potência instalada, também é recomendável esclarecer aos habitantes da comunidade o limite de fornecimento de energia elétrica do sistema instalado, disponibilizando uma cartilha do consumo racional e acompanhar mensalmente a comunidade durante os 6 primeiros meses de utilização deste bem, levantando a curva de consumo versus tempo, de 0:00 a 24 horas.

3.5 Etapa 5 – Identificação das Características Principais do Rio

Esta etapa tem por objetivo conhecer os principais parâmetros do rio, que são importantes para o levantamento do potencial hidrocinético local. As características principais ideais do rio, para a instalação da turbina hidrocinética são: velocidades médias da correnteza acima de 1,0 m/s, margens com rocha ou terra firme, poucos detritos flutuantes, variações da lâmina d'água inferiores ou iguais a 2,5 m.c.a., proximidade do rio à comunidade, em torno de 500 m.

Recomenda-se medir a velocidade do rio por intermédio de um molinete e na falta deste pode-se utilizar um método mais simples com um flutuador, ou equipamentos mais sofisticados, se disponíveis tais como o correntômetro acústico de efeito Dopler. Pelo menos as velocidades da superfície do rio e para profundidades, $D/4$, $D/2$, D e $1,2 D$, deverão ser medidas, onde D é o diâmetro do rotor da turbina hidrocinética. Estas velocidades devem ser levantadas em pelo menos 3 seções transversais onde a turbina será instalada, e é desejável realizar 3 medidas para cada ponto e adotar a velocidade média para os estudos e dimensionamento.

A profundidade do rio também deve ser medida, com a utilização de uma régua milimetrada, ou de um ecobatímetro portátil associado a um GPS, lembra-se que o rotor da turbina hidrocinética não deverá tocar o fundo do rio. Para rios com profundidade superior a 1,5 m, e com largura superior a 10 m, recomenda-se a utilização de barcos com salva vidas para os seus ocupantes durante a realização desta missão de medições.

3.6 Etapa 6 – Levantamento do Potencial Hidrocinético do Rio

Para o dimensionamento do potencial disponível, deve ser considerada a profundidade do rio na época da seca,

ou seja, da baixa hidraulicidade, sob pena, de em algumas situações a geração da energia elétrica gerada pela unidade ser interrompida pela falta de profundidade que garanta a submersão mínima do rotor da turbina. A equação (1) apresentada neste trabalho, deixa claro a forte influência da velocidade do fluxo d água no potencial hidrocínético do rio. A equação (2) a seguir apresenta a potência disponibilizada nos bornes do gerador em W da unidade hidrocínética.

$$P_e = 0,156019.D^2.\rho.v^3 \quad (2)$$

Onde:

P_e = Potência disponibilizada nos bornes do gerador em W;

D = Diâmetro do rotor da turbina em m;

ρ = Densidade da água do rio em kg/m³;

V = Velocidade da água do rio em m/s.

A equação 2 considera o rendimento da turbina com rotor hélice de 59,2 % e o rendimento do gerador elétrico de 67,11%, cujo rendimento global do grupo é de 39,73% (ELS et al, 2002). Esta equação deixa claro que os locais de maiores velocidades no rio, devem ser priorizados para a instalação da turbina hidrocínética.

3.7 Etapa 7 – Recomendações e Definições dos Critérios Básicos a serem Satisfeitos para que a Hidrocínética possa ser Instalada

Esta etapa tem por objetivo definir e recomendar os critérios básicos que decidirão pela instalação ou não da unidade hidrocínética para a geração de energia elétrica em uma comunidade isolada.

Considerando as etapas anteriores e estudos de custo benefício realizados os critérios e recomendações para a instalação de unidades hidrocínéticas são os a seguir:

- A velocidade da correnteza do rio deve ser superior ou igual a 0,8 m/s;
- Em rios navegáveis o local de instalação deve ser devidamente sinalizado, preferencialmente com flutuantes coloridos (bóias), de forma a evitar acidentes e não atrapalhar a navegabilidade do rio;
- Para demandas locais acima de 5 kW, recomenda-se avaliar a possibilidade da instalação de mais de uma hidrocínética no local (se o rio comportar, pode-se instalar várias unidades hidrocínéticas).

3.8 Etapa 8 – Recomendações e Definições dos Critérios Básicos para as Instalações da Hidrocínética e da Linha de Transmissão

Os tópicos descritos nesta etapa deverão ser executados por profissionais treinados e com conhecimento de montagem da unidade, e devidamente esclarecidos sobre suas metas e missões, e de posse de um cronograma de execução, previamente elaborado pelos projetistas da hidrocínética. A hidrocínética deve ser acondicionada juntamente com os seus acessórios, um projeto civil e eletromecânico completo, um memorial descritivo de instalação e um manual de, comissionamento, manutenção e operação da mesma, e as peças sobressalentes para 5 anos de operação/manutenção, para ser enviada para o local de montagem. A unidade poderá ser fixada na margem do rio ou ser montada sobre um flutuador, dependendo do comportamento do rio já levantado anteriormente.

Após concluir a montagem e o comissionamento da hidrocínética, o projeto deverá ser revisado no formato *As Built* pelo seu fornecedor e disponibilizado no campo para a sua operação e manutenção.

3.9 Etapa 9 – Recomendações e Definições para os Testes da Hidrocínética e da Linha de Transmissão/Distribuição Associada

Nesta etapa serão definidos os testes básicos que deverão ser realizados na hidrocínética e na sua linha de transmissão, cujos resultados deverão ser contemplados em um relatório técnico.

Os testes básicos recomendados são os a seguir:

- Inspeção visual de toda a unidade e sistema;
- Teste da unidade operando em vazio, verificando possíveis interferências e ruídos excessivos;
- Operação da unidade em carga máxima, e a potência de saída do gerador deve ser medida com um watímetro, também dev
- Ser medida a tensão de saída do gerador, por um voltímetro (pode ser utilizado um multímetro). Também deve ser verificada a frequência, de forma a confirmar se o dispositivo regulador eletrônico de tensão e frequência está operando devidamente, garantindo a qualidade da energia fornecida;
- Após a conclusão dos testes com sucesso, a unidade deve ser liberada para a operação comercial assistida (por pelo menos uma semana) e inicia-se o período de garantia da mesma;
- Deve ser realizado um treinamento de forma a capacitar mão de obra local, para a operação/manutenção da hidrocínética.

3.10 Etapa 10 – Recomendações e Definições para a Operação e Manutenção da Hidrocínética e dos seus Sistemas Associados.

O manual de operação e manutenção da hidrocínética deve contemplar os seguintes tópicos técnicos e recomendações:

- Inspeção visual de todo o sistema semanalmente;
- Verificação e limpeza da grade da hidrocínética semanalmente (esta periodicidade deve ser estabelecida de acordo com a quantidade de detritos em suspensão na água do rio);

- Verificação e limpeza dos contatos elétricos a cada 15 dias (esta periodicidade também poderá ser ajustada de acordo com os resultados obtidos das primeiras verificações);
- Verificação do rotor da turbina e demais componentes, e do gerador elétrico a cada 12 meses (desgaste, corrosão, mancais, reapertos e aterramento);
- Verificação da linha de transmissão/distribuição a cada 6 meses (inspeção visual, verificação de possíveis interferências da vegetação).

Para estas verificações o pessoal local deve ser rigorosamente treinado inclusive observando os critérios de segurança em destaque.

3.11 Etapa 11 – Estimativas dos Custos Envolvidos, do kW Instalado e do Valor do kWh Gerado pela Hidrocinética

Os custos envolvidos devem contemplar o projeto, os equipamentos, o transporte, a montagem, a operação assistida, as viagens a serviço, os testes, os treinamentos, e as peças sobressalentes destinadas à manutenção da unidade e dos seus sistemas associados, ou seja, unidade instalada sob a forma de empreitada integral. Os custos médios apresentados são os que foram obtidos pelas pesquisas realizadas e instalações de hidrocinéticas, até então realizadas pelo Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília – ENM-UnB, com participação das Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. – ELETRONORTE. Os custos da hidrocinética e dos seus sistemas associados, são variáveis e dependem fortemente da velocidade do rio, da capacidade da unidade, da distância da comunidade ao ponto de instalação, do tipo de instalação (margem ou flutuador) e do acesso à comunidade isolada.

Para o levantamento dos custos estimados apresentados foram consideradas as seguintes premissas básicas (base Setembro de 2007):

- Instalação de uma unidade hidrogeradora hidrocinética em uma comunidade isolada hipotética na Região Amazônica em uma comunidade com acesso terrestre, tendo como referencia para transporte aéreo a cidade de Belém do Pará;
- Custo total de viagens a serviço e horas trabalhadas de R\$ 9.000,00 (nove mil reais), com permanência no local de 3 profissionais especializados e utilização de mão-de-obra local;
- A unidade hidrocinética completa fabricada em Brasília, com capacidade de 1800 kW, rio com a velocidade de 2m/s, diâmetro do rotor da turbina de 1200 mm, com um custo total de R\$ 16.000,00 (dezesseis mil reais), posta no local de instalação;
- Utilização de materiais básicos de construção do local (areia, brita, e postes de madeira), com custo apenas da mão de obra de extração;
- Linha de transmissão com extensão máxima de 500 m, sem a aplicação de transformadores elevadores e abaixadores;
- Utilização de trabalho comunitário da comunidade, pelo menos 3 trabalhadores;
- Vida útil da hidrocinética de 25 anos;
- Instalação da unidade na margem do rio;
- Taxa manual de manutenção de R\$ 500,00 (ELS et al, 2005);
- As taxas de juros foram desprezadas;
- Operação ininterrupta da turbina por 23 anos dos 25 anos considerados para a sua vida útil;
- O custo médio do litro do óleo diesel na Amazônia de R\$ 2,10 (dois reais e dez centavos);
- O consumo de uma micro central diesel de 0,35 litros de diesel por kWh gerado, o que levaria o custo do kWh gerado para R\$ 0,73 (setenta e tres centavos de reais), somente com o combustível;
- Custo mínimo de geração de um sistema solar da ordem de 1,5 R\$/kWh gerado, para um fator de utilização de 12,5%, e para 6 horas de sol pleno (Vale et al, 2004);
- Custo da geração eólica da ordem de 1,0 R\$/kWh gerado, para um fator de utilização de 3% e velocidade do vento de 10 m/s (Vale et al, 2004);
- Custo da biomassa preparada para geração de energia elétrica de 0,10 R\$/kg, e um consumo mínimo de 1,2 kg de biomassa preparada para gerar 1 kWh, resultando em um custo mínimo de 0,12 R\$/kWh gerado, considerando somente o combustível (Blasques et al, 2005).

Considerando as premissas básicas simplificadas completas para uma comunidade isolada hipotética, o custo do kWh gerado pela hidrocinética determinado foi de R\$ 0,11 (onze centavos de reais), o que mostrou a sua competitividade com relação a outras fontes alternativas para geração de energia elétrica em comunidades isoladas.

3.12 Etapa 12 – Recomendações para a Elaboração de um Cronograma Geral do Empreendimento

O cronograma a ser elaborado deve contemplar de forma cronológica as etapas de 1 a 10, e considerar os trabalhos que poderão ser realizados em paralelo de maneira que o tempo de implantação seja otimizado. Também se recomenda elaborar uma curva de desembolso, que apresente os desembolsos semanais que deverão ser realizados para que o empreendimento seja desenvolvido sem atrasos e de forma que seja possível elaborar uma previsão orçamentária para a sua conclusão.

O modelo apresentado é dinâmico e recomenda-se a sua atualização, com as experiências advindas de projetos e instalações realizadas, ou seja, é um processo aberto a melhorias contínuas. O modelo poderá ser aplicado em outras regiões do Brasil e no exterior, e podem ser desenvolvidos modelos similares para outras fontes de geração de energia elétrica para comunidades isoladas, inclusive com sistemas híbridos. Uma continuidade importante para este trabalho, é o levantamento das comunidades isoladas na Amazônia e em todo o Brasil, passíveis de utilização do sistema hidrocinético para geração de energia elétrica e os locais potenciais para a implantação de fábricas destes equipamentos com os seus sistemas associados.

4.0 - CONCLUSÃO

- O modelo desenvolvido pode ser estendido para implantação destes equipamentos em outras localidades, além da região Amazônica;
- Os critérios técnicos apresentados são essenciais para o sucesso da implantação das turbinas hidrocínéticas e para a geração de energia elétrica com sustentabilidade;
- A geração de energia elétrica por intermédio de sistemas hidrocínéticos mostrou-se competitiva quando comparada com outras fontes alternativas, tais como, micros centrais a diesel, sistema solar, biomassa e sistema eólico;
- A avaliação econômica da hidrocínética com precisão é complexa, pois o levantamento dos custos para a sua implantação exige uma retro alimentação de informações precisas do local de instalação, portanto, os valores apresentados neste trabalho são médios estimativos;
- As características e o comportamento do rio são fundamentais para o estabelecimento das definições e recomendações para a implantação da hidrocínética, pois baixas velocidades implicam em menor energia gerada, turbinas maiores e aumento dos custos envolvidos. A distância do rio à comunidade é importante, em virtude das perdas de transmissão, grandes distâncias implicam na necessidade de inserir transformadores elevadores e abaixadores de tensão no projeto, o que implicará em custos adicionais de aquisição, montagem, manutenção e a inserção de, mais pontos de possíveis falhas no sistema;
- O modelo desenvolvido, um guia metodológico, tem o conteúdo e o propósito para preencher uma lacuna identificada neste segmento, e facilitar a gestão da implantação das turbinas hidrocínéticas, otimizar os custos envolvidos aproveitando ao máximo os recursos naturais das comunidades, e contribuirá para difundir a cultura da turbina hidrocínética no Brasil;

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ELS, R. H. V.; CAMPOS, C. O.; HENRIQUES, A. M. D.; BALDUINO, L. F. Hidrokinetic turbine for isolated villages. X. ELPAAH – ENCONTRO LATINO-AMERICANO E DO CARIBE EM PEQUENOS APROVEITAMENTOS HIDROENERGÉTICOS, Poços de Caldas, p.268-272; 2003;
- (2) ELS, R. H. V.; BELAS, C. A., CAMPOS, C. O. Projeto piloto de micro central hidrocínética para geração de energia elétrica na Reserva Extrativista do Rio Maracá: relatório de levantamento e projeto técnico. MMA, Secretaria de Coordenação da Amazônia, Brasília, 2002;
- (3) HARWOOD, H. J. H.; DUZAT, M. R. Testes de um gerador hidrocínético flutuante (cata-água) em rios da Amazônia Central: a evolução técnica do protótipo e as perspectivas pra instalações futuras, INPA, Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, 2004;
- (5) NASCIMENTO, M. V.G., VIEIRA; L. S.R., SILVA, M. R.; FLEURY, G.; DOMINGUES, P. C.; SADI, J. C., ALMEIDA S. C. A.; BELCHIOR, C. R. P. L., Opções à geração diesel elétrica para sistemas isolados na região Norte: eólica, hidrocínética e biomassa. XV SNPTEE, Foz do Iguaçu, outubro, 1999;
- (6) BRASIL JUNIOR, A. C. P.; ELS, R. H. V., Fundamentos, e resultados preliminares do projeto Poraquê (concepção da hidrocínética de geração 3). ELETRONORTE, UnB, CNPq, Brasília, 2006;
- (7) BELPIEDE, D.; GRIMONI, J. A. B.; GALVÃO, L. C. R.; UDAETA, M. E. M., Estudos metodológicos para avaliação de projetos de micro-geração hídrica. Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, RJ, Anais: A Universalização do Acesso a Energia, v.3, p. 1-12, Rio de Janeiro, 2004;
- (8) BLASQUES, L. C. M., TUPIASSÚ, A. F.; PINHO, J. T., Análise econômica de tecnologias para eletrificação de uma pequena comunidade isolada na Amazônia. XVIII SNPTEE, Curitiba, outubro, 2005;
- (9) VALE, S.B., BEZERRA, U. H., PINHO, J. T., PEREIRA, E. J. S., Estudo da Inserção de célula a combustível integrada a sistema híbrido de geração de eletricidade isolado. UFPA, Belém, 2004.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Carmo Gonçalves

Nascido em Macaúbal, SP em 07 de Outubro de 1960

Graduação em Engenharia Mecânica, UnB, 1984

Mestrado em Engenharia Mecânica, Mecânica dos Fluidos – Cavitação, UnB-INPG, 1997

Pós Graduação em Engenharia de Produção – UFSC, 2007.

Empresa: ELETRONORTE – Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A., desde 1989;

Atua na Gerência de Projeto Eletromecânico de Hidrelétricas – EEGH

Membro individual do CIGRÉ – Brasil.