



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

**Eder Fernandes Borges**

**APROVEITAMENTO DE RECURSO ENERGÉTICO PÓS-  
HIDRELÉTRICA COM RODAS DE PÁS NO CANAL DE FUGA**

**Palmas-TO**

**2015**

**Eder Fernandes Borges**

**APROVEITAMENTO DE RECURSO ENERGÉTICO PÓS-  
HIDRELÉTRICA COM RODAS DE PÁS NO CANAL DE FUGA**

Monografia apresentada como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor M.Sc. José Geraldo Delvaux Silva

**Palmas-TO**

**2015**

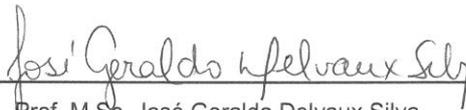
**Eder Fernandes Borges**

**APROVEITAMENTO DE RECURSO ENERGÉTICO PÓS-  
HIDRELÉTRICA COM RODAS DE PÁS NO CANAL DE FUGA**

Monografia apresentada como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor M.Sc. José Geraldo Delvaux Silva

Aprovado em 13/11/2015.

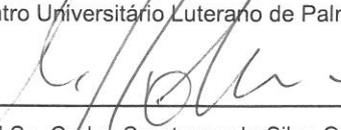
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. M.Sc. José Geraldo Delvaux Silva  
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. D.Sc. Angela Ruriko Sakamoto  
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. M.Sc. Carlos Spartacus da Silva Oliveira  
Centro Universitário Luterano de Palmas

**Palmas-TO**

**2015**

*Este presente trabalho é dedicado exclusivamente à minha mãe Esther William, que sempre me protegeu me dando força nas horas mais difíceis, com todo seu carinho e amor, nesta jornada que estou aqui a vencer.*

*Aos meus avós Djalma e Jandira, que mesmo nos momentos de tempestade, nunca deixaram de acreditar que era possível chegar ao final desta caminhada.*

*A minha querida irmã Mariana Queiroz, que juntamente com minha mãe e avós, puderam vivenciar toda a minha caminhada, com seu imenso carinho e amor. Sempre torceram e influenciarão no meu sucesso, assim como torcerei por eles, em suas jornadas, e que eles assim como eu, possam vir a dedicar aos nossos pais e filhos a educação e o respeito á nós concedido.*

*“Escolhe um trabalho que gostes, e não terás que trabalhar nem um dia na tua vida.” Confúcio.*

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por ter me dado saúde, força e o conhecimento pouco a pouco, me iluminando neste desafio. Agradeço também por ter-me protegido nos vários dias e noites de trabalho.

A minha mãe Esther William Alvarenga Queiroz Borges, o qual poderá presenciar mesmo distante com seu amor e carinho, cada minuto de caminhada nesta jornada.

A minha irmã Mariana Queiroz Borges que mesmo na distância sempre acreditou na minha vitória.

Aos meus familiares, mesmo distantes torceram por esse momento vitorioso. Aos meus colegas e amigos incondicionais.

Ao meu orientador, Prof. M.Sc. José Geraldo Delvaux Silva (CEULP/ULBRA), pela amizade e companheirismo, pela confiança, participação e incentivo à pesquisa.

Aos meus Professores do CEULP/ULBRA, Prof. Dr.(a) Angela Ruriko Sakamoto, Prof. M.Sc. Carlos Spartacus, M.Sc. Edivaldo Alves dos Santos, Prof. M.Sc. - Mênfis Bernardes Alves e Esp. Fernando Moreno Suarte Júnior.

## RESUMO

BORGES, Eder Fernandes. **Aproveitamento de recurso energético pós-hidrelétrica com rodas de pás no canal de fuga.** 2015. 50 f. Monografia de Conclusão de Curso. Universidade de Engenharia Civil. Centro Universitário Luterano de Palmas/TO.

As sociedades futuras enfrentam uma demanda emergente de energia, o que implica em vários desafios com a previsão de escassez dos tradicionais recursos energéticos fósseis e as consequências ambientais da poluição. Sobre o impacto ambiental, a energia elétrica proveniente da expansão da Usina Hidrelétrica de Lajeado é gerada a partir do aproveitamento da força das águas de um rio. Este processo é realizado através da movimentação das pás pela passagem das águas e em cujo eixo está acoplado a um gerador. O giro do eixo das pás possibilita que o gerador converta a energia do movimento das águas em energia elétrica. O objetivo é explorar meios de gerar energia limpa aproveitando a estrutura existente da Usina de Lajeado forma economicamente viável. O impacto ambiental a estudar e analisar a área que não causaria um problema devido que toda sua estrutura da roda de pás estarem sendo executada na área da usina. Foi entrevistado engenheiro civil, engenheiro elétrico da Edp e Biólogo sobre o aproveitamento de recurso energético pós-hidrelétrica com rodas de pás sem gerar impacto ambiental no local.

**Palavras-chave:** Geração de energia, Ampliação de geração de energia, Geração de energia com baixo impacto ambiental.

## ABSTRACT

BORGES, Eder Fernandes. **Post- hydroelectric energy resource utilization with paddle wheels on the escape channel.** 2015. 50 f. Monograph of Course. University of Civil Engineering. Lutheran University Center of Palmas/TO.

Future societies face an emerging demand for energy, which implies a number of challenges with the forecast shortage of traditional fossil energy resources and the environmental consequences of pollution. On the environmental impact, the electrical energy from the expansion of Lajeado Hydroelectric Power Plant is generated from the use of force of the water of a river. This process is accomplished by movement of the blades by passing the water and on whose shaft is coupled to a generator. The swivel axis of the blades allows the generator converts the energy of motion of the water into electricity. The aim is to explore ways of generating clean energy taking advantage of the existing structure of the Lajeado power plant economically viable. The environmental impact study and analyze the area that would not cause a problem due to all its paddle wheel structure are being performed in the area of the plant. Was interviewed civil engineer, electrical engineer and biologist EDP on the use of post-hydroelectric energy resource with paddle wheels without generating environmental impact on site.

**Keywords:** Power generation. Power generation Magnification Power generation with low environmental impact.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

CGE - Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica

DG – Distributed Generation (Geração Distribuída)

DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

EP - Energia Potencial

GCPS - Grupo Coordenador de Planejamento do Sistema

GCOI - Grupo Coordenador para a Operação Interligada

GD - Geração Distribuída

GEE - Gases de Efeito Estufa

GW - Gigawatts

MME - Ministério de Minas e Energia

PCH - Pequena central elétrica

PV - Energia Fotovoltaica

SIN - Sistema Interligado Nacional

TWh - Terawatt hora

UHE - Usina hidrelétrica

V2G - Vehicle-to-Grid

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Geração atual de energia elétrica no Brasil.....	31
-------------------------------------------------------------	----

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Esquema de uma PCH.....	16
<b>Figura 2</b> - Esquema de uma usina hidrelétrica .....	17
<b>Figura 3</b> - Turbina hidráulica Francis.....	23
<b>Figura 4</b> - Turbina hidráulica Kaplan .....	24
<b>Figura 5</b> - Turbina hidráulica Pelton.....	24
<b>Figura 6</b> – Usina Hidrelétrica de Jupia – Rio Paraná (Três Lagoas – SP).....	26
<b>Figura 7</b> - Sistema Interligado Nacional.....	27
<b>Figura 8</b> - Sistemas Isolados .....	30
<b>Figura 9</b> Projeto da Turbina Kaplan adotada na UHE de Lajeado .....	32
<b>Figura 10</b> - Vista do Canal de Fuga em construção da Usina Mauá.....	33
<b>Figura 11</b> – Exemplo da Roda de pás posicionadas no início do canal de saída pós- geração da energia de uma UHE .....	36
<b>Figura 12</b> - Vista aérea da UHE da cidade de Lajeado – Canal de fuga à direita após turbinas.....	38

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	Objetivo Geral.....	12
1.2	Objetivos Específicos .....	12
1.3	Justificativa .....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	14
2.1	ENERGIA HIDRÁULICA E AS PCH'S.....	14
2.2	Participação na matriz energética nacional.....	18
2.2.1	Vantagens das UHE'S (Usina Hidrelétricas).....	18
2.2.2	Desvantagens e impactos socioambientais. ....	19
2.2.3	Geração distribuída e PCH'S versus UHE'S.....	20
2.3	Generalidades do uso de energia hidráulica.....	21
2.3.1	Disponibilidade de Recursos Hidráulicos .....	22
2.4	Geração distribuída. ....	26
2.4.1	A geração distribuída no Brasil. ....	28
2.5	Canal de Fuga.....	32
3	METODOLOGIA.....	34
3.1	– Desenho do Estudo .....	34
3.2	– Objeto do Estudo. ....	34
3.3	Coleta e Análise de Dados .....	34
4	RESULTADO E DISCUSSÕES .....	36
4.1	– UHE de Lajeado - Compensação Financeira pela Utilização dos Recursos Hídricos - CFURH .....	37
4.2	– Canal de Fuga da UHE de Lajeado .....	37
4.3	Aumentando a capacidade geração da UHE de Lajeado.....	39
4.4	Aspectos Ambientais. ....	39
5	CONCLUSÕES.....	41

## 1 INTRODUÇÃO

As sociedades futuras enfrentam uma demanda emergente de energia, o que implica em vários desafios com a previsão de escassez dos tradicionais recursos energéticos fósseis e as consequências ambientais da poluição.

O desenvolvimento de tecnologias para geração de energia de micro e pequeno porte, tecnologias de geração distribuída (DG) e para armazenamento de energia exigem que a infraestrutura de energia e a infraestrutura de informação de micro redes inteligentes alcance fluxos de energia nos dois sentidos e interações (SUN E ZHANG, 2012). Estes desenvolvimentos estão trazendo mudanças radicais para o modelo tradicional de produção e de fornecimento, bem como para o modelo de negócio da indústria de energia (HOUWING et al, 2008).

Contudo, o rápido desenvolvimento da indústria do setor de energia tem revelado algumas fragilidades na segurança, estabilidade e vulnerabilidade dessas redes (HOUWING et al, 2008).

O setor elétrico demonstra diferentes emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa) entre os países, o que é um resultado de cada combinação de energias particular. Ele é o principal emissor de gases de efeito estufa em muitos países devido às usinas-termelétricas (EUA, 2013).

A despeito de tais cenários futuros, propomos políticas alternativas para o desenvolvimento de novos caminhos para a geração de eletricidade utilizando tecnologias mais limpas e o uso mais eficiente do gás natural, mantendo o mix de energia elétrica brasileiro principalmente renovável.

Os resultados econômicos e ambientais dessas propostas foram comparados aos resultados da trajetória atual, com foco no gás natural apenas, e servem como parâmetros para uma avaliação da sustentabilidade das políticas energéticas brasileiras atuais.

Tal método pode ser também aplicado em outros países, utilizando dados da demanda local como quantidades, preço e elasticidade-preço, dos custos marginais dos possíveis fornecedores distribuídos, e das emissões de CO<sub>2</sub> das fontes primárias disponíveis.

O impacto ambiental a estudar e analisar a área que não causaria um problema devido que toda sua estrutura da roda de pás estarem sendo executada na área da usina.

Toda forma de geração de energia deve ter sua subestação em sua proximidade, que neste caso estaria utilizando também a subestação da UHE (Usina hidrelétrica).

Constata-se uma crescente demanda por energia elétrica no mundo assim como no Brasil, bem como a importância dessa expansão para o desenvolvimento das nações e para a melhoria dos padrões de vida.

As previsões de escassez de fontes de hidrocarbonetos, a Ciência procura novas formas energéticas, disponíveis pela natureza: recursos abundantes, limpos e renováveis.

Portanto, este trabalho visa contribuir com a questão energética ao propor uma alternativa para aumentar a produção de energia da UHE da cidade de Lajeado, TO.

### **1.1 Objetivo Geral**

Explorar meios de gerar energia limpa aproveitando a estrutura existente da Usina de Lajeado de forma economicamente viável.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Quantificar o número de geradores e pás no canal de fuga da UHE de Lajeado.
- Obter a vazão do canal de fuga da UHE de Lajeado.
- Analisar a possibilidade de um novo impacto ambiental não previsto na concepção da UHE de Lajeado.

### **1.3 Justificativa**

A maioria das usinas do Brasil foi projetada de forma semelhante, utilizando os mesmos critérios e padrões que vem desempenhando sua função satisfatoriamente. A agregação de rodas de pás na geração de energia seria um projeto novo para o Brasil. Este projeto poderia aumentar a geração de energia aproveitando as várias UHE e PCH (Pequena central elétrica) existentes, aumentando a geração de energia.

Sua energia firme será comercializada por meio de contratos de suprimento com concessionárias de serviço público de energia elétrica e com consumidores finais habilitados. Este processo dá origem a novos fluxos comerciais entre geradores, detentores de concessões de usinas, distribuidores e consumidores com opção de compra, lembrando que a UHE de Lajeado está cadastrada no SIN (Sistema Interligado Nacional).

Assim, a expansão da usina de Lajeado participará da evolução do mercado de energia elétrica das regiões Norte - Nordeste, Centro-Oeste e também da região Sudeste. Esta é uma característica dos sistemas elétricos brasileiros, com um parque gerador preponderantemente hidrelétrico de grande porte, envolvendo intercâmbios expressivos de energia entre as diversas regiões do país, que conduz o planejamento do setor a estudos com horizontes de longo prazo.

Desta maneira, além do atendimento aos centros de carga do Tocantins e à região Norte de Goiás, a área de influência da UHE Lajeado abrange inclusive as regiões de Goiânia, Brasília e Itumbiara, com capacidade do

transporte de eventuais excedentes de geração desta área para a região Sudeste.

Além do potencial competitivo, a atratividade da hidroeletricidade se reforça na medida em que é obtida a partir de uma fonte renovável e tecnologicamente conhecida. Por outro lado, os reservatórios das hidrelétricas já estão implantados. Essa expansão desde que planejados e operados adequadamente dentro da ótica de usos múltiplos da água, possibilitam a implantação de empreendimentos com inserção regional.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Será abordado neste capítulo temas relativo à geração de energia hidráulica, assim como os tipos de usina, formas de distribuir, vantagens, desvantagens e funcionamento do canal de fuga.

### **2.1 ENERGIA HIDRÁULICA E AS PCH'S**

As Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) são empreendimentos de exploração de recursos hídricos para produção de energia elétrica, no qual se instalam turbinas hidráulicas acopladas aos geradores de eletricidade, que são impulsionadas pelo fluxo d'água resultante de um desnível provocado por barragem ou um curso d'água (POLIZEL, 2007).

Estes empreendimentos surgem como alternativa na tentativa de minimizar os impactos causados pelas usinas hidrelétricas. Embora também causem danos ao meio ambiente, sua dimensão é incomparavelmente menor devido a suas características (não necessitam de grandes reservatórios e operam a fio d'água). As pequenas centrais possibilitam ainda, melhor atendimento às necessidades de carga de pequenos centros urbanos e regiões rurais, e representam um dos principais focos de prioridade com relação à expansão da oferta de energia elétrica no Brasil.

As PCHs operam, tipicamente, a fio d'água, ou seja, permitem a passagem contínua de toda água com capacidade nominal mais estável, aproveitando a vazão natural dos rios sem precisar estocar grandes quantidades de água. Com isso, em ocasiões de estiagem, a vazão disponível pode ser menor que a capacidade das turbinas, causando ociosidade. Em situações contrárias, as vazões são maiores que a capacidade de engolimento das máquinas, fato esse que permite a passagem de água pelo vertedor.

As PCHs são instaladas principalmente em rios de pequeno e médio porte que possuam desníveis significativos o suficiente para gerar potência hidráulica que movimentará as turbinas da usina; a turbina por sua vez acionará o gerador elétrico, transformando a energia cinética de rotação em energia elétrica. Tal energia é levada, através de cabos elétricos ou barras condutoras, dos terminais do gerador até o transformador elevador, onde sua tensão será elevada para a adequada condução, por meio de linhas de transmissão, até os centros de consumo. A tensão tem seu valor elevado,

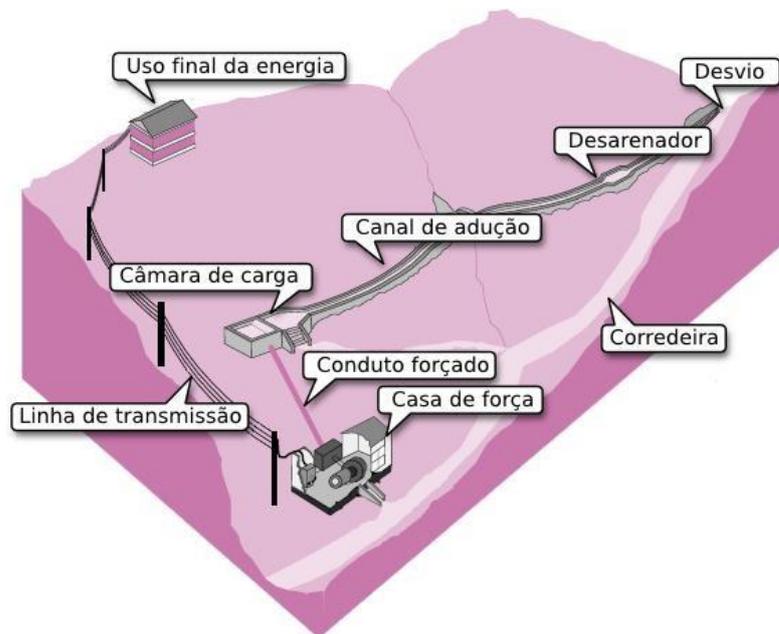
principalmente, para reduzir as perdas através dos fios condutores das linhas de transmissão.

Os principais componentes de uma pequena central hidrelétrica, e suas respectivas funções, são citados a seguir:

- Reservatório: acumula água para regularizar o rio e garantir a vazão mínima a ser turbinada. Vertedouro: controla o nível do reservatório impedindo que, durante uma grande cheia, a água passe por cima da barragem, danificando sua estrutura.
- Barragem: tem a função de reter a água, criando artificialmente um desnível. Podem ser construídas com os mais diversos tipos de materiais (pedras, concreto, madeira ou alvenaria de tijolos) e no caso das PCHs, não têm a função de acumulação, mas sim a de desviar parte da vazão para o canal de adução. Tal característica é responsável pela sua forma de operação (operação a fio d'água).
- Tomada d'água: estrutura, geralmente construída de concreto, responsável pela captação de água do reservatório.
- Canal de adução: sua função é conduzir a água do reservatório da tomada d'água à câmara de carga; segue uma mesma curva de nível.
- Câmara de carga: elemento que liga o canal de adução ao conduto forçado.
- Conduto forçado: conduz a água sob pressão do trecho mais inclinado até a casa de máquinas, onde irá ser turbinada.
- Casa de máquinas: construção que abriga os grupos geradores (turbina e gerador elétrico) e os equipamentos de controle; em alguns casos pode abrigar ainda os equipamentos elétricos de transmissão.
- Canal de fuga: devolve ao leito do rio a vazão de água que passou pela turbina.

Alguns dos principais componentes podem ser observados na figura 1, que representa o esquema de operação de uma PCH.

**Figura 1** - Esquema de uma PCH.



**FONTE:** Cerpch (2012).

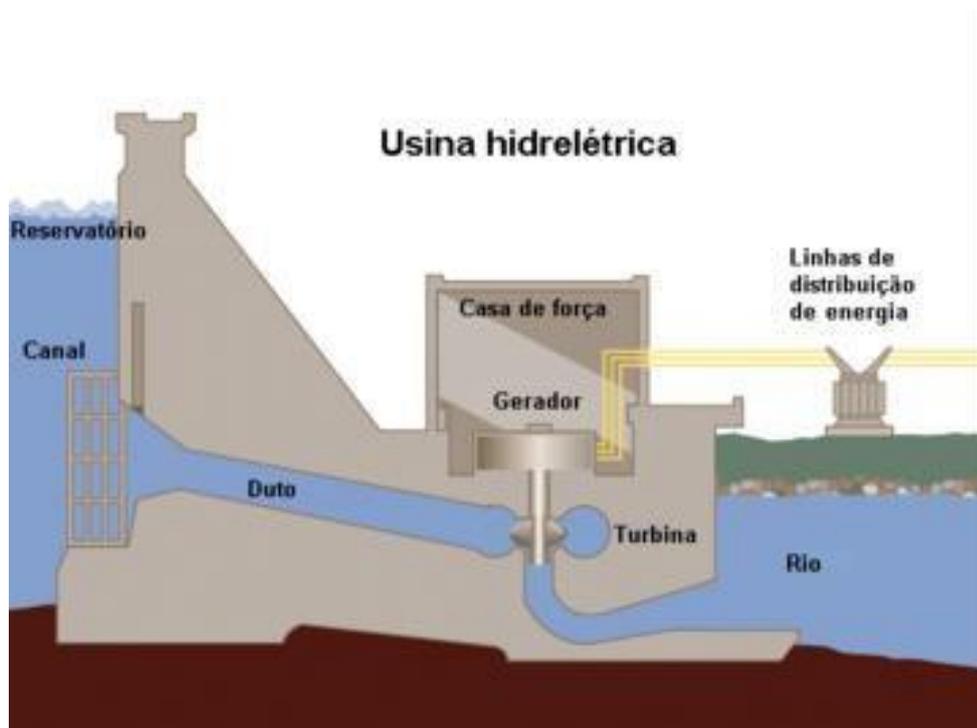
Conforme a terceira edição do Atlas de Energia Elétrica do Brasil, desenvolvido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2008, a água é o recurso natural mais abundante no planeta e também uma das mais eficazes fontes capazes de gerar energia elétrica. Além disso, é uma fonte renovável, já que os efeitos da energia solar e da força da gravidade fazem com que o líquido se transforme em vapor e se condensa em nuvens, retornando à superfície terrestre sob a forma de chuvas.

A energia hidrelétrica é gerada pelo aproveitamento do fluxo das águas em uma usina de energia na qual as obras civis, que envolvem tanto a construção quanto o desvio do rio e a formação do reservatório, possuem igual ou maior importância que os equipamentos instalados. Na produção da mesma é necessário integrar a vazão do rio, a quantidade de água disponível em determinado período de tempo e os desníveis do relevo, sejam eles naturais, como as quedas d'água, ou criados artificialmente.

A usina é composta pelos seguintes itens essenciais: barragem, reservatório, sistema de captação e adução de água, casa de força e vertedouro, que funcionam em conjunto. A água do reservatório (ou lago) é formada pelo fechamento da barragem, que interrompe o curso normal do rio e

permite a formação do mesmo. O sistema de captação e adução de água é constituído por túneis, canais e/ou condutos metálicos que a conduzem até a casa de força, onde se passará por turbinas hidráulicas que estão acopladas a geradores, nos quais a potência mecânica é transformada em potência elétrica; após passar pela turbina, a água retorna ao leito natural do rio. O vertedouro é responsável por permitir a saída de água sempre que os níveis do reservatório ultrapassarem os limites recomendados sejam por excesso de chuvas ou pela existência de água em quantidade maior do que a necessária para a geração. A energia é conduzida por cabos ou barras condutoras dos terminais do gerador até o transformador elevador, onde a tensão terá seu valor elevado para permitir a condução, pelas linhas de transmissão, até os centros consumidores. Neles, por meio de transformadores abaixadores, o nível da tensão terá seu valor reduzido para a utilização da energia em residências, comércios e indústrias. A figura 2 apresenta os principais componentes presentes em uma usina hidrelétrica.

**Figura 2** - Esquema de uma usina hidrelétrica



FONTE: Wikipédia (2015).

## **2.2 Participação na matriz energética nacional.**

As usinas hidrelétricas representavam, há alguns anos atrás, cerca de 90% da capacidade total instalada no país. Atualmente essa participação recuou para 66,5%, o que representa 78,69 Gigawatts (GW). Tal fato se deve à construção de novas usinas que se utilizam de outras fontes de energia, em ritmo maior que aquele verificado pelas mesmas. Conforme observado na Tabela 3, o número de UHEs em construção e outorgadas é muito menor se comparados aos dos outros tipos de empreendimentos. Porém, elas continuam sendo responsáveis pela geração de mais de 50% de energia no país.

### **2.2.1 Vantagens das UHE'S (Usina Hidrelétricas)**

Qualquer empreendimento gerador de energia elétrica causa impactos sociais e ambientais. Em comparação com as alternativas economicamente viáveis (usinas térmicas e nucleares), as usinas hidrelétricas são consideradas formas mais eficientes, limpas e seguras de se produzir energia elétrica. Suas atividades, em comparação com as termelétricas movidas a combustíveis fósseis, provocam menor emissão de gases causadores do efeito estufa. Além disso, não envolvem os riscos implicados, por exemplo, na operação das usinas nucleares, como vazamento e contaminação de trabalhadores e população com material radioativo, e têm custo operacional mais baixo do que as outras fontes de energia, proporcionando energia mais barata, onde não são necessárias constantes melhorias tecnológicas para aumentar a eficiência da exploração do recurso. O aproveitamento hidrelétrico auxilia no amortecimento das cheias e permite projetos complementares de desenvolvimento econômico e social regional, como navegação, irrigação, piscicultura e abastecimento.

Uma descoberta mais recente em favor desse tipo de empreendimento é o método para aproveitamento da madeira inundada, que promove a retirada da vegetação antes da área ser inundada para formar o reservatório. Este procedimento, além de diminuir a emissão de gases causadores do efeito estufa, como o gás carbônico e o gás metano, promove o desenvolvimento econômico da região, pois a madeira pode ser utilizada em atividades geradoras de renda e também na construção civil, além de ser utilizada como combustível em usinas termelétricas.

### **2.2.2 Desvantagens e impactos socioambientais.**

É de ordem mundial as discussões sobre os impactos ambientais provenientes das usinas hidrelétricas, assim como de todos os tipos de empreendimentos geradores de energia elétrica. Tais usinas têm se revelado insustentáveis a partir de critérios que identificam os problemas físico-químico-biológicos provocados pela sua implantação. A construção e utilização daquelas podem apresentar uma série de consequências negativas que abrangem desde alterações climáticas, hidrológicas e geomorfológicas locais até a morte de espécies que vivem nas áreas de inundação e suas proximidades, além da possível perda de recursos minerais pelo alagamento.

O desajuste do regime hidrológico afeta, a biodiversidade da planície e pode acarretar a interrupção do ciclo de vida de muitas espécies. Hidrelétricas exigem o represamento do rio e a formação de um lago artificial que, aliado às modificações no ambiente decorrentes da presença do homem, principalmente pelas migrações relacionadas à obra, provocam o desequilíbrio dos ecossistemas, podendo favorecer a propagação de endemias. O elevado custo de capital da obra, o tempo longo para o início das operações (projeto, sua aprovação e construção) e o retorno de investimento relativamente longo, são também exemplos de desvantagens oriundas da presença de tais usinas.

Uma das questões contrárias mais recentemente levantada é a de que usinas hidrelétricas, proclamadas como uma técnica ecologicamente correta de se produzir energia, provoca sim o efeito estufa. Após estudos realizados, cientistas estão responsabilizando-as pela emissão de gases estufa. Um relatório da Comissão Mundial de Represas afirma que algumas hidrelétricas lançam tanto gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>) na atmosfera quanto às usinas termelétricas que queimam carvão mineral. O motivo se deve à grande área de floresta que é inundada com a construção da represa; essa vegetação apodrece, lançando no ar doses gigantescas dos gases poluentes.

Os impactos socioeconômicos merecem igual atenção, pois a instalação não afeta apenas o meio-ambiente, mas também as populações presentes e vizinhas das áreas alagadas. Com a construção da grande área do reservatório, comunidades ribeirinhas são expulsas de seus locais de origem e tornam-se obrigadas a migrarem para outras localidades, fato esse que ocasiona grandes alterações nas atividades econômicas ligadas ao uso da

terra e da água, impedindo seu desenvolvimento social. Outro risco apresentado é a degeneração de valores etno-culturais, principalmente quando se atinge comunidades indígenas como aconteceu, por exemplo, nas usinas de Balbina (com os Waimiri-Atroari) e de Tucuruí (com os Paracaná).

### **2.2.3 Geração distribuída e PCH'S versus UHE'S.**

A base da geração de energia elétrica no Brasil é hidráulica, onde as pequenas centrais hidrelétricas e as usinas hidrelétricas se utilizam da mesma fonte para a geração de energia, a água. A ANEEL as classificou em categorias distintas utilizando, como critério, os valores máximos de potência instalada e de área inundada para a formação do reservatório. É essa significativa diferença nas dimensões do lago artificial que se caracteriza como a maior vantagem das PCHs sobre as UHEs: os impactos ambientais provenientes da instalação das primeiras são incomparavelmente menores. Em um mundo onde cada vez se discute mais a preservação do meio ambiente, tal diferença assume enorme importância. Ocorre ainda a suavização das questões socioeconômicas, visto que não se faz necessária a desapropriação de enormes áreas, fato esse que ocasiona o remanejamento das populações ribeirinhas.

Como a maioria das hidrelétricas estão localizadas distantes dos grandes centros consumidores, é necessária a implantação de grandes sistemas de transmissão e distribuição, tornando a geração centralizada. Em direção oposta tem-se também a geração distribuída (descentralizada) que se caracteriza por produzir menor capacidade e ser conectada na rede local de distribuição de energia próxima aos centros de consumo, diminuindo os custos com a transmissão de energia, entre outros. A geração distribuída baseia-se em fontes eólicas, solares, PCHs e térmicas (a biomassa e gás natural). Tais fontes de energia renováveis alternativas são também menos agravantes à natureza e trazem consigo problemas sociais de menor intensidade.

Por serem caracterizadas pela geração descentralizada, tanto a geração distribuída quanto às pequenas centrais promovem o melhor atendimento às necessidades de consumo de pequenas regiões urbanas e localidades rurais.

Ambas não atuam competindo com a geração hidrelétrica, mas sim complementando o fornecimento realizado pelo sistema.

### **2.3 Generalidades do uso de energia hidráulica**

O uso da energia hidráulica foi uma das primeiras formas de substituição do trabalho animal pelo mecânico, particularmente para bombeamento de água e moagem de grãos. Entre as características energéticas mais importantes, destacam-se as seguintes: disponibilidade de recursos, facilidade de aproveitamento e principalmente, seu caráter renovável.

A energia hidráulica é proveniente da irradiação solar e da energia potencial gravitacional, através da evaporação, condensação e precipitação da água sobre a superfície terrestre. Ao contrário das demais fontes renováveis, já representa uma parcela significativa da matriz energética mundial e possui tecnologias devidamente consolidadas. Atualmente, é a principal fonte geradora de energia elétrica para mais de 30 países e representa cerca de 20% de toda a eletricidade gerada no mundo (ANEEL, 2002).

No Brasil, água e energia têm uma forte e histórica interdependência, de forma que a contribuição da energia hidráulica ao desenvolvimento econômico do país tem sido expressiva. Seja no atendimento das diversas demandas da economia – atividades industriais, agrícolas, comerciais e de serviços –, ou da própria sociedade, melhorando o conforto das habitações e a qualidade de vida das pessoas. Também desempenha papel importante na integração e desenvolvimento de regiões distantes dos grandes centros urbanos e industriais.

A participação da energia hidráulica na matriz energética nacional é da ordem de 42%, gerando cerca de 90% de toda a eletricidade produzida no país. Apesar da tendência de aumento de outras fontes, devido a restrições socioeconômicas e ambientais de projetos hidrelétricos e os avanços tecnológicos no aproveitamento de fontes não convencionais, tudo indica que a energia hidráulica continuará sendo, por muitos anos, a principal fonte geradora de energia elétrica do Brasil. Embora os maiores potenciais remanescentes estejam localizados em regiões com fortes restrições ambientais e distantes dos principais centros consumidores, estima-se que, nos próximos anos, pelo menos 50% da necessidade de expansão da capacidade de geração seja de origem hídrica (ANEEL, 2002).

O recente processo de reestruturação do setor elétrico brasileiro tem estimulado a geração descentralizada de energia elétrica, de modo que as

fontes não convencionais, principalmente as renováveis, tendem a ocupar maior espaço na matriz energética nacional.

### **2.3.1 Disponibilidade de Recursos Hidráulicos**

Uma primeira estimativa da quantidade de energia hidráulica disponível no mundo poder ser feita através da simples aplicação da fórmula de cálculo da energia potencial (EP):

$$EP = M \text{ (massa)} \times g \text{ (aceleração da gravidade)} \times h \text{ (altura)}$$

De acordo com Boyle (1996), “a precipitação média anual na terra é da ordem de 1017 kg e a altura média da superfície terrestre (em relação ao nível do mar) é de 800m. Portanto, a energia hidráulica potencial é da ordem de 200 mil twh por ano, o que equivale a duas vezes o consumo médio anual de energia primária no mundo”.

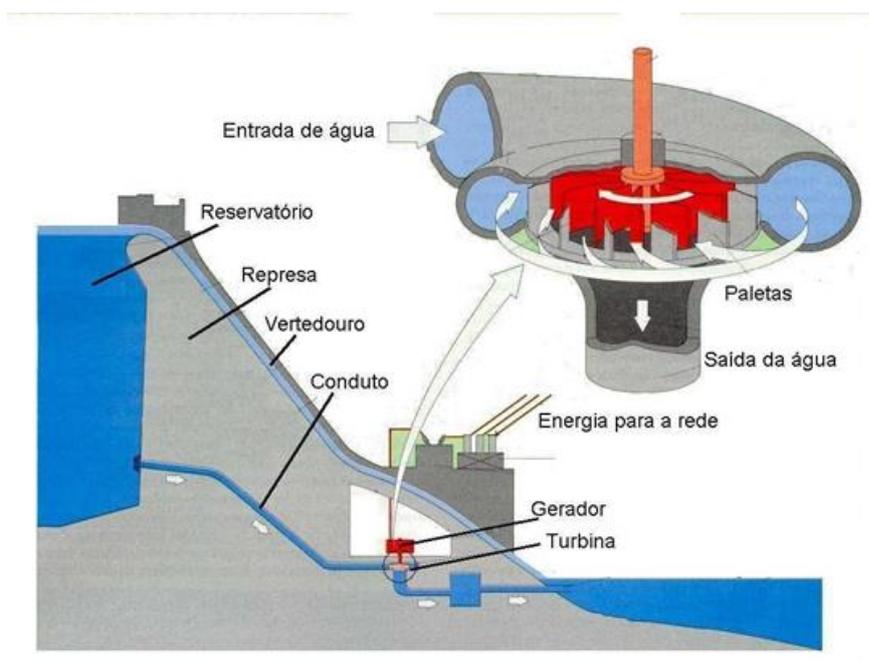
Essa estimativa é pouco realística, pois, na prática, é impossível o aproveitamento de todo esse volume de água. Primeiramente, em virtude da inacessibilidade a parte desse volume e da ré evaporação, antes que possa ser utilizado; em segundo lugar, porque há perdas de energia devido à turbulência e fricção da água nos canais e tubulações, de modo que a altura efetiva tende a ser bastante inferior à altura real. Há, ainda, perdas no processo de conversão, embora o sistema "turbo-gerador" seja um dos métodos mais eficientes de aproveitamento de energia primária (os modelos mais eficientes chegam a atingir um índice 90%), (ANEEL, 2002). Estima-se, assim, que apenas um quarto do referido volume de água precipitada esteja efetivamente disponível para aproveitamento hidráulico. Desse modo, a energia hidráulica disponível na Terra é de aproximadamente 50.000 Terawatt hora (TWh) por ano; o que corresponde, ainda assim, a cerca de quatro vezes a quantidade de energia elétrica gerada no mundo atualmente. Essa quantia supostamente disponível de energia hidráulica, também denominada recurso total, é ainda não realista do ponto de vista técnico. A quantidade efetivamente disponível depende das condições locais do aproveitamento (como a topografia e o tipo de chuva), e do tempo efetivo de operação do sistema. Teoricamente, uma usina poderia operar continuamente (8.760 horas por ano); isto é, com um fator de capacidade de 100%. Na prática, porém, esse índice é da ordem de 40%

apenas, em função de problemas operacionais e da necessidade de manutenção.

Desse modo, estima-se que a energia hidráulica efetivamente disponível na Terra, isto é, o potencial tecnicamente aproveitável, varie de 10.000 TWh a 20.000 TWh por ano (UN, 1992). Com exceção de pequenos aproveitamentos diretos da energia hidráulica para bombeamento de água, moagem de grãos e outras atividades similares, o aproveitamento da energia hidráulica é feito através do uso de turbinas hidráulicas, devidamente acopladas a um gerador de corrente elétrica. Com eficiência que pode chegar a 90%, as turbinas hidráulicas são atualmente as formas mais eficientes de conversão de energia primária em energia secundária.

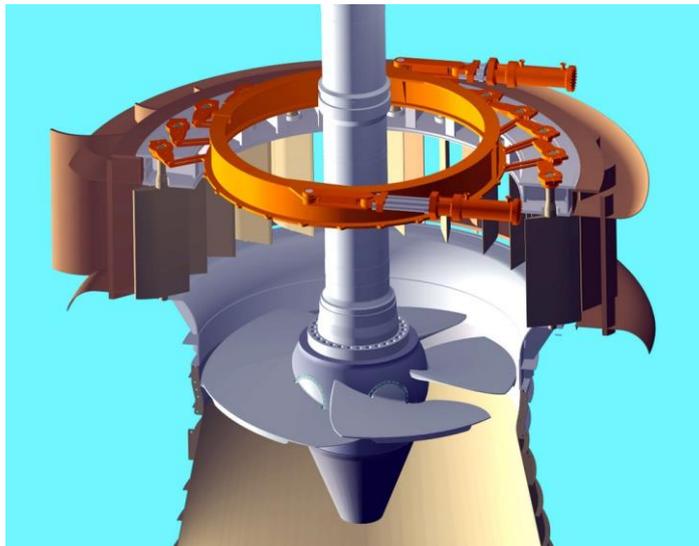
As turbinas hidráulicas apresentam uma grande variedade de formas e tamanhos. O modelo mais utilizado é o de Francis, vide figura 3, uma vez que se adapta tanto a local com baixa queda quanto a local de alta queda. Como trabalha totalmente submerso, seu eixo pode ser horizontal ou vertical Ramage, (1996). Entre outros modelos de turbinas hidráulicas, destacam-se o de Kaplan (figura 4), adequado a local de baixa queda (10 m a 70 m), e o de Pelton (figura 5), mais apropriado a locais de elevada queda (200 m a 1.500m).

**Figura 3** - Turbina hidráulica Francis



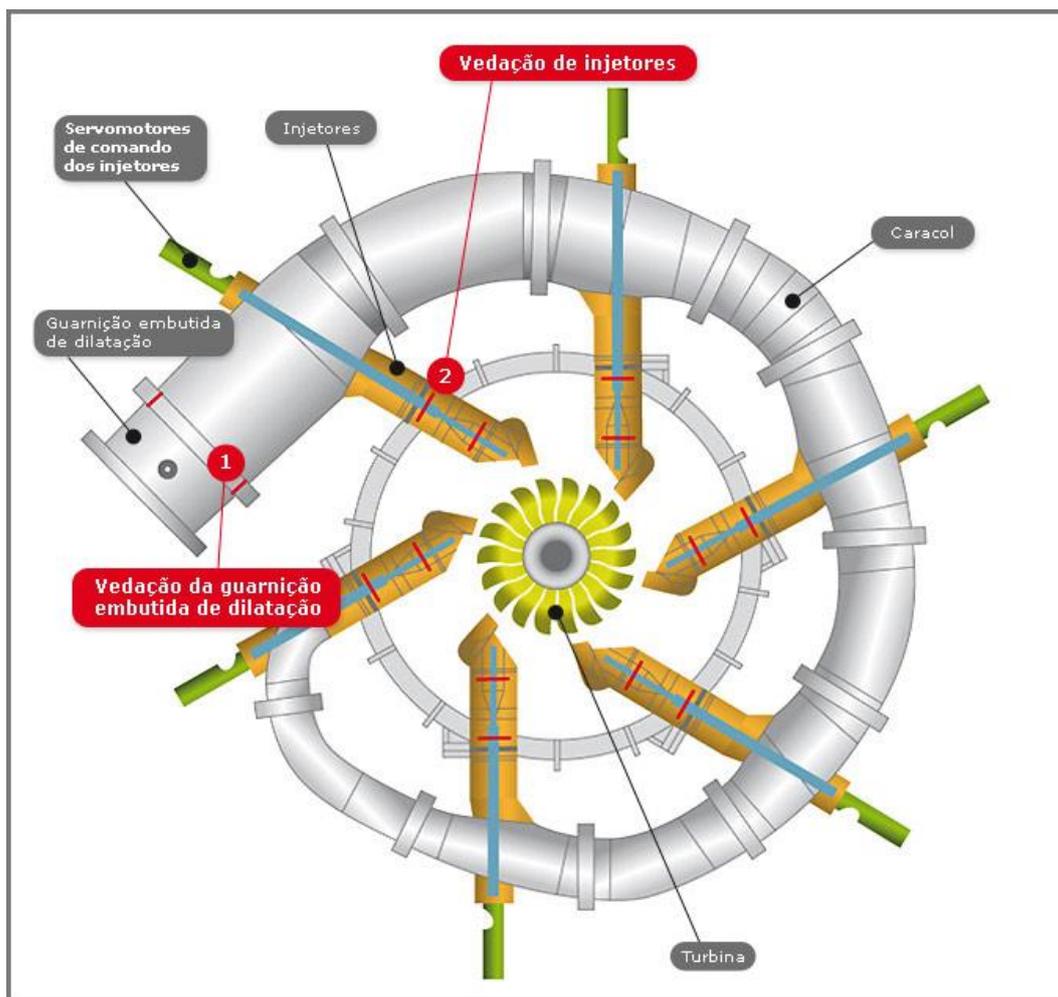
**FONTE:** Dimitri - Mansur (2015)

**Figura 4** - Turbina hidráulica Kaplan



**FONTE:** Panoramio (2015)

**Figura 5** - Turbina hidráulica Pelton



**FONTE:** Pxl Seals (2015)

Em relação às usinas hidrelétricas, os seguintes aspectos podem ser usados na classificação das usinas Ramage, (1996): I - altura efetiva da queda d'água; II - capacidade ou potência instalada; III - tipo de turbina empregada; IV - localização, tipo de barragem, reservatório etc. Contudo, esses fatores são interdependentes. Geralmente, a altura da queda determina os demais e uma combinação entre esta e a capacidade instalada determina o tipo de planta e instalação. Não há limites muito precisos para a classificação do tipo de queda e, portanto, os valores variam entre fontes e autores. O Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas – CERPCH, da Escola Federal de Itajubá – EFEI, considera de baixa queda uma instalação com altura de até 15 m; instalações com alturas superiores a 150 m são consideradas de alta queda e instalações com altura entre esses dois valores são consideradas de média queda (CERPCH, 2000).

Segundo a referida fonte, os locais mais favoráveis às instalações de alta queda se encontram geralmente nas ribeiras de grandes declives, formados por rápidos ou cascatas. Nesse caso, as obras de tomada d'água e de prevenção de enchentes são, em geral, de dimensões limitadas e custos reduzidos. A maioria dos investimentos de construção civil é constituída pelo conduto hidráulico. A turbina mais adequada é a do tipo Pelton, com o uso de geradores de alta velocidade, cujas dimensões e preços unitários são sensivelmente mais baixos do que para as máquinas mais lentas.

Em instalações de baixa queda, a casa de força é integrada às obras de tomada d'água ou localizada a uma pequena distância. As turbinas são do tipo Kaplan ou Hélice, com baixa velocidade (entre 70 e 350 rpm). As obras civis podem ser reduzidas pelo uso de grupos axiais do tipo bulbo e o custo dos geradores também pode ser reduzido, com o uso de multiplicadores de velocidade.

No Brasil, um exemplo típico de aproveitamento hidrelétrico de baixa queda é o da Usina Hidrelétrica de Jupia (Figura 6), localizada no Rio Paraná, Município de Três Lagoas – SP. Com reservatório de 330 km<sup>2</sup>, a usina possui 14 turbinas Kaplan, totalizando uma potência instalada de 1.551 MW.

**Figura 6** – Usina Hidrelétrica de Jupia – Rio Paraná (Três Lagoas – SP)



**Fonte:** Aneel et al. (2015).

#### **2.4 Geração distribuída.**

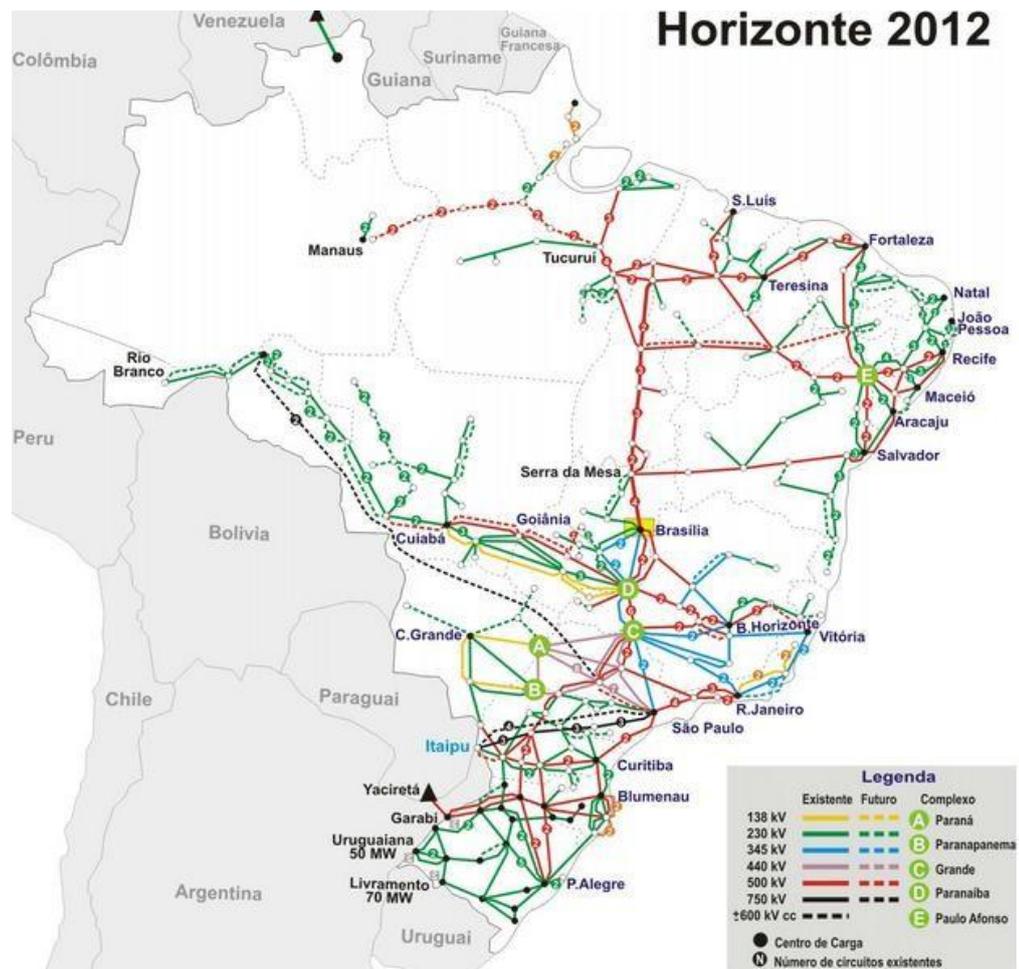
A energia elétrica, e seus inúmeros modos de utilização e aplicação, são os fatores de maior importância na contribuição para o desenvolvimento da humanidade. O consumo da mesma está diretamente relacionado com o desenvolvimento econômico e crescimento populacional de um país, pois reflete o ritmo de atividade dos setores industrial, comercial e de serviços. Para isso é necessário, entre outras coisas, a garantia de que as fontes de energia estejam disponíveis em níveis suficientes, sempre levando em consideração as questões ambientais e sociais.

Embora o termo geração distribuída pareça novo, sua concepção se deu graças a Thomas A. Edison que, no ano de 1882, criou o primeiro sistema de geração de energia em Nova York. A construção da primeira central de geração, localizada na Rua Pearl Street, fornecia energia para lâmpadas incandescentes de aproximadamente 59 clientes em uma área de 1km<sup>2</sup>. Essencialmente, este é o conceito mais simples de geração distribuída: uma fonte geradora localizada próxima à carga.

Com o desenvolvimento dos transformadores, o uso da corrente alternada logo conquistou seu espaço possibilitando o atendimento de cargas

distantes do local de geração. Surgiram assim, grandes sistemas de energia que apresentavam maior confiabilidade, desde usinas geradoras de energia elétrica a sistemas de transmissão capazes de atender a demandas de proporções continentais, como é o caso do Sistema Interligado Nacional, apresentado na Figura 7.

**Figura 7** - Sistema Interligado Nacional.



**FONTE:** Ons (2015).

Com o crescimento da população e o desenvolvimento tecnológico, torna-se necessário uma demanda de energia cada vez maior. Assim, quando o aumento na demanda ultrapassa os limites do sistema, exige-se a construção de novas unidades de geração de grande porte, bem como de sistemas para a transmissão e distribuição desta nova parcela de energia. Tal modelo passou a ser questionado com o surgimento de novas tecnologias que promovem a redução do custo da energia gerada, além dos inúmeros impactos ambientais associados à sua implantação. Com isso, a geração distribuída passou a ser cada vez mais valorizada.

A Geração Distribuída (GD) deriva de diversas fontes primárias de energia tanto renováveis (biomassa) quanto não renováveis (sobretudo gás natural), não se vinculando a uma tecnologia específica. Há duas vertentes distintas de possibilidade de atuação da GD: reserva descentralizada e fonte de energia. A reserva descentralizada supre as mais diversas necessidades, tais como: excesso de demanda de ponta, cobertura de apagões e melhoria das condições qualitativas do fornecimento em regiões com déficit de atendimento.

Agindo como fonte de energia, essencialmente volta-se para atender cargas próximas, seja para autoconsumo (industrial, predial, público – hospitais, aeroportos), com ou sem produção de excedentes exportáveis, seja para suprir necessidades locais de distribuição de energia.

São incluídas na geração distribuída as fontes alternativas de energia, tais como: gás natural, centrais geradoras de energia elétrica, biomassa, solar, eólicas e pequenas centrais hidrelétricas. Tais centrais deverão ser conectadas a algum sistema de distribuição de energia elétrica, podendo ser diretamente por uma subestação ou pelo sistema de transmissão.

#### **2.4.1 A geração distribuída no Brasil.**

No Brasil, a geração distribuída (também conhecida como geração descentralizada), foi definida de forma oficial através do Decreto nº 5.163, de 30 de Julho de 2004, (BRASIL, 2004) e foi definida da seguinte forma:

“Art. 14”. Para os fins deste Decreto, considera-se geração distribuída à produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados (...), conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento:

I – hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 Megawatts (MW);

II – termelétrico, inclusive de geração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, (...).

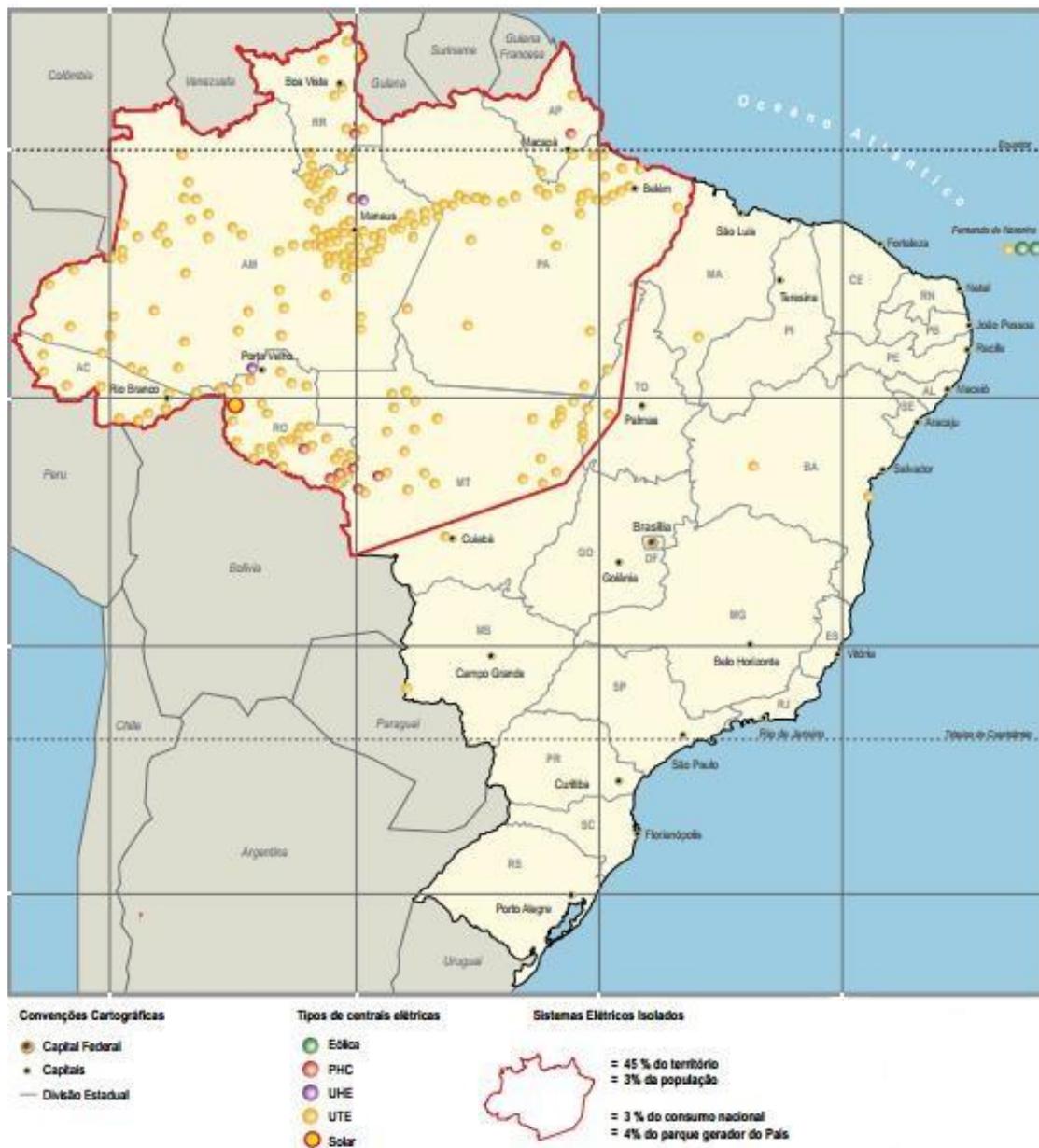
Parágrafo único. “Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo, como combustível, não serão limitados ao percentual de eficiência energética prevista no inciso II do caput.”

Em outras palavras, geração distribuída é qualquer fonte geradora com produção destinada, em sua maior parte, a cargas locais ou próximas, alimentadas sem necessidade de transporte da energia na rede de transmissão (INEE, 2015).

Atualmente no país, grande parte da geração de energia elétrica, o equivalente a 70,07% da capacidade total instalada, é de origem hidráulica, ou seja, é proveniente das usinas hidrelétricas, PCHs e centrais geradoras hidrelétricas. As usinas hidrelétricas, em sua maior parte, estão instaladas em localidades distantes dos centros de carga, o que explica o extenso sistema de transmissão necessário para levar tal energia a eles. A principal característica desse segmento é a sua divisão em dois grandes blocos: o Sistema Interligado Nacional (mostrado anteriormente na Figura 7), abrangendo grande parte do território nacional, e os Sistemas Isolados, que correspondem praticamente à região Norte, como apresentado na Figura 8.

A geração distribuída atua complementando o fornecimento de energia elétrica realizado pelo sistema, contribuindo para que a oferta de energia seja suficiente para atender a demanda. Em 2001 a demanda por energia, aliada ao baixo nível dos reservatórios das usinas hidrelétricas, explicitou o déficit de energia que apresentava o Brasil. Assim, o governo precisou exercer algumas medidas para administrar a crise. Em abril de 2001, foi criada a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica (CGE), que previa soluções emergenciais visando um rápido aumento na oferta de eletricidade e na adoção de novos programas de eficiência energética (BAJAY; BADANHAN, 2002).

**Figura 8 - Sistemas Isolados**



**FONTE:** Aneel (2015).

O racionamento de energia ocorrido em 2001 expôs a fragilidade do sistema de geração no Brasil e permitiu que a discussão sobre fontes alternativas ganhasse força. Diversos fatores possibilitaram profundamente a difusão dessa tecnologia em nosso país, entre eles a desestruturação do setor elétrico, o baixo custo de investimento em relação às grandes centrais elétricas, a necessidade de suprir a demanda por energia elétrica em grandes centros consumidores e também em locais isolados do SIN, e a preocupação cada vez mais frequente e necessária com a questão ambiental.

Atualmente, a GD é responsável por 22,83% da energia elétrica gerada no Brasil, chegando a mais de 28.535 MW de potência, como mostrado na Tabela 1, ordenada por tipos de geração.

**Tabela 1** – Capacidade Geração do Brasil

Empreendimentos em Operação				
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
CGH	525	368.982	370.859	0,27
EOL	274	6.700.433	6.645.847	4,79
PCH	467	4.835.899	4.822.945	3,47
UFV	25	25.233	21.233	0,02
UHE	198	87.701.249	85.278.663	61,43
UTE	2.821	40.987.330	39.700.165	28,6
UTN	2	1.990.000	1.990.000	1,43
<b>Total</b>	<b>4.312</b>	<b>142.609.126</b>	<b>138.829.712</b>	<b>100</b>

Os valores de porcentagem são referentes a Potência Fiscalizada. A Potência Outorgada é igual a considerada no Ato de Outorga. A Potência Fiscalizada é igual a considerada a partir da operação comercial da primeira unidade geradora.

**FONTE:** Aneel, (2015)

A contribuição da GD no panorama energético nacional será cada vez mais significativa visto que a busca por fontes alternativas para a produção de energia é uma tendência mundial. Além disso, o PROINFA participa de maneira expressiva nessa contribuição. O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) foi criado pelo Governo Federal através **da Lei nº 10.438, de 26 de Abril de 2002**, (BRASIL, 2002) com o intuito de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas, diversificando a matriz energética brasileira e buscando alternativas para aumentar a segurança dos sistemas no abastecimento de energia, além de valorizar as potencialidades regionais e locais. Tal programa implantou, até 31 de Dezembro de 2.011, um total de 119 empreendimentos, constituído por 41 usinas eólicas, 59 PCHs e 19 termelétricas a biomassa, somando 2.649,87 MW de potência (S.A, 2001).

Com relação às perspectivas futuras, estudos do Ministério de Minas e Energia (MME) estimam que a parcela de energia gerada por fontes alternativas, onde se enquadra a energia gerada pela GD, seja de 46,6% em 2030.

A partir da análise dos dados retirados do Balanço Energético Nacional, (EPE, 2011) dos anos de 2004 e 2006, e do Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2007), a energia nuclear, o carvão mineral e o gás natural terão maior

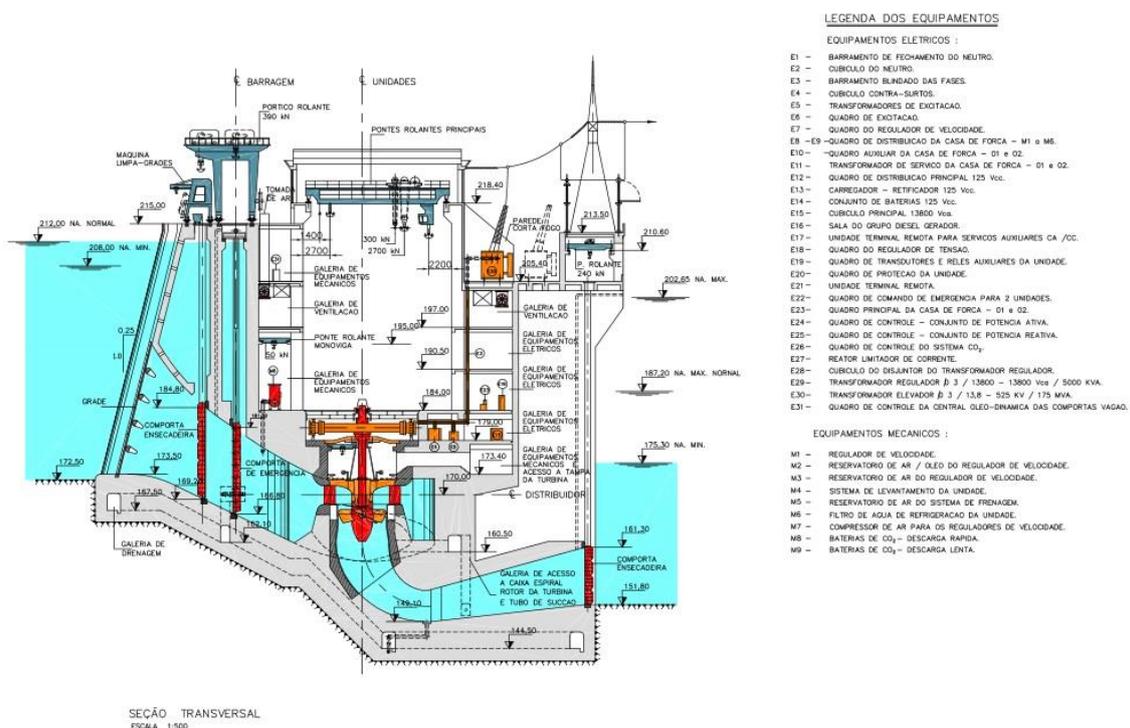
participação relativa na geração de energia elétrica, resultando em menor geração relativa pelas usinas hidrelétricas.

## 2.5 Canal de Fuga

O canal de fuga, é a jusante do tubo de sucção, entre a casa de força e o rio, é o canal através do qual a vazão turbinada é restituída ao rio.

O dimensionamento de sua geometria será sempre condicionado pelo tipo e dimensões da casa de força e pela distância entre a casa de força e o rio.

**Figura 9** Projeto da Turbina Kaplan adotada na UHE de Lajeado



**FONTE:** Edp - Investco (2015).

Quando esse canal é escavado em rocha, seu dimensionamento hidráulico deverá ser realizado procurando-se reduzir sua escavação, sem, no entanto, provocar aumento das perdas de carga.

Para os canais com superfície livre, a largura é comumente variável ao longo de seu comprimento. A largura inicial deverá ser igual à largura da casa de força. O comprimento será, também, variável, em função da distância entre a casa de força e o rio. Na confluência com o rio, a largura no fim do canal de

fuga deverá ter dimensão suficiente para não introduzir qualquer controle sobre o escoamento.

**Figura 10** - Vista do Canal de Fuga em construção da Usina Mauá



**Fonte:** Paraná (2015)

A declividade do canal será, também, variável, em função da diferença de elevação entre o fundo do tubo de sucção e do rio. No início do canal, deve-se adotar rampas ascendentes suaves, como 1 (V) : 6 (H) ou 1 (V) : 10 (H), por exemplo, de acordo com a geometria do tubo de sucção.

Para os casos nos quais a curva-chave, a jusante da casa de força, não é bem conhecida, poderá ser necessário introduzir-se uma soleira afogadora, a jusante do tubo de sucção, para garantir a manutenção do nível d'água mínimo necessário ao perfeito funcionamento das turbinas, à exceção das turbinas Pelton que funcionam desafogadas.

Para os casos nos quais sejam necessários túneis de fuga, no caso das casas de força subterrâneas, deverá ser consultada bibliografia específica.

Para os casos onde o maciço rochoso é fraturado, deverão ser tomados cuidados especiais no que diz respeito ao tratamento das paredes laterais e do fundo, especialmente nas proximidades do tubo de sucção, visando-se reduzir as possibilidades de erosões pelo escoamento (queda de blocos de rocha).

### **3 METODOLOGIA**

Para que os objetivos abordados nessa pesquisa sejam alcançados, é apresentado neste capítulo o método que será utilizado para a conclusão da pesquisa. Este capítulo apresenta a metodologia adotada nesta pesquisa para possibilitar o alcance dos objetivos estabelecidos anteriormente

#### **3.1 – Desenho do Estudo**

Na metodologia utilizada para o presente trabalho, será o método de estudo de caso, com abordagem qualitativa, objetivo metodológico exploratório.

Marconi e Lakatos (2009) definem uma pesquisa exploratória como uma forma do pesquisador se familiarizar com o fenômeno de estudo que deseja, utilizando a observação e entrevistas como instrumentos para a coleta de dados. Na pesquisa experimental, as autoras definem o método como um meio de investigações para o teste de hipóteses.

A pesquisa se dará pelo método exploratório, em função de que o pesquisador estará realizando observações no campo e entrevistas com os responsáveis do setor de engenharia e diretoria técnica da empresa, explorando formas de gerar energia mais energia limpa, utilizando uma estrutura existente.

#### **3.2 – Objeto do Estudo.**

O objeto de estudo deste projeto é a UHE de Lajeado, as pesquisas ocorreram no período de 2014-2015, com foco na exploração do uso das rodas de pás no aproveitamento de recurso energético pós-hidrelétrica no canal de fuga.

#### **3.3 Coleta e Análise de Dados**

Foram realizadas quatro visitas in loco da Usina de Lajeado, quando foram realizadas entrevistas com funcionários da usina, a coleta de documental e dados obtidos por meio do site oficial da Investco. O objetivo do estudo de caso é explorar meios de gerar mais energia limpa aproveita uma estrutura existente. Segue abaixo as etapas.

- **Primeira etapa** - Quantificar o número de geradores e pás no canal de fuga da UHE de Lajeado.

- **Segunda etapa** – Obter a vazão do canal de fuga da UHE de Lajeado.
- **Terceira etapa** - Analisar a possibilidade de um novo impacto ambiental não previsto na concepção da UHE de Lajeado. Onde foi realizada uma entrevista com especialista no setor para ratificar o parecer deste estudo.
- **Quarta etapa** – Fixação das unidades geradoras no local.
- **Quinta etapa** – Interligação da transmissão de energia com a subestação da UHE de Lajeado.

O Quadro 1 representa o protocolo de pesquisa, como recomendado por Yin (2010), que serve para nortear a condução da pesquisa e aumentar a confiabilidade do estudo.

**Quadro 1** – Protocolo de pesquisa

<b>Visão Geral do Projeto</b>
<p><b>Objetivo:</b> Explorar meios de gerar energia limpa aproveitando a estrutura existente da Usina de Lajeado forma economicamente viável</p> <p><b>Assuntos do estudo:</b> Energia Hidráulica; Canal de Fuga; Distribuição de Energia no Brasil.</p> <p><b>Leituras relevantes:</b> Caderno Setorial Energia Hidrelétrica – <b>Ministério do Meio Ambiente – Secretaria de recursos Hídricos</b>, Brasília, 2006.</p>
<b>Procedimentos de Campo</b>
<p><b>Apresentação das credenciais:</b> Apresentação como estudante de Engenharia Civil do Ceulp/Ulbra.</p> <p><b>Acesso aos Locais:</b> Visita marcada in loco.</p> <p><b>Fonte de Dados:</b> Primárias (entrevista e observação) e secundárias (bibliográfica e documental).</p> <p><b>Advertências de Procedimento:</b> Não se aplica.</p>
<b>Questões investigadas no estudo:</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>a. Observar aspectos técnicos para a implantação das Rodas de Pás.</li> <li>b. Análise de possibilidade de Impacto Ambiental.</li> <li>c. Entrevista com pessoal técnico e docente.</li> <li>d. Formas de instalação das Rodas de Pás no local a ser implantado</li> </ol>

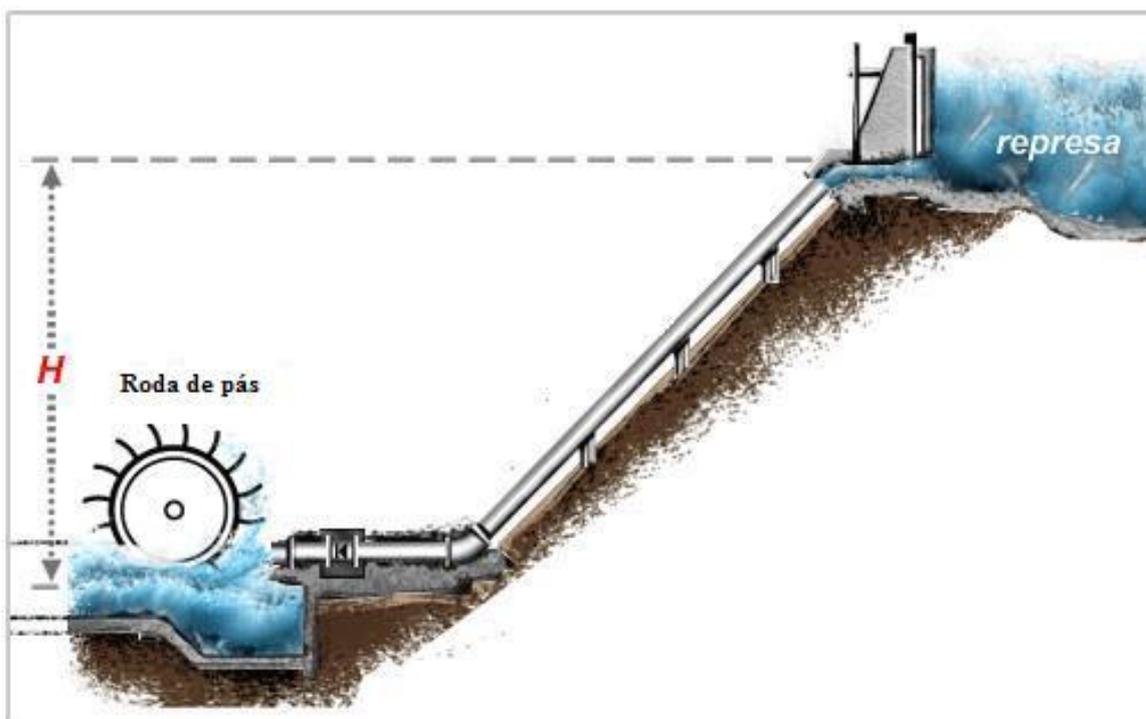
**Fonte:** Autor, adaptado de Yin (2010).

#### 4 RESULTADO E DISCUSSÕES

A UHE da cidade de Lajeado foi instalada de 180,5 MW por unidade geradora de potencia, no seu total de 902,5 MW que permite gerar aproximadamente 4.600.000 megawatts-hora por ano, em função da disponibilidade média de água no rio Tocantins. Toda energia elétrica gerada na UHE LAJEADO é transportada por uma linha de transmissão em 500 kw, com extensão de 29,58 km, interligando as subestações de Lajeado (Investco) e Miracema (Eletronorte). De Miracema ela é disponibilizada para o Sistema Elétrico Brasileiro.

No decorrer do ano de 2015 foi abordado para os engenheiros da Edp, a questão do aproveitamento de recurso energético pós-hidrelétrica com rodas de pás no canal de fuga e ficaram interessados na ideia do aumento da produção de energia sem haver tanto impacto ambiental no local onde foi instalada a usina da cidade de Lajeado. A ideia basicamente é a apresentação do uso da roda de pás para este fim (vide figura 11).

**Figura 11** – Exemplo da Roda de pás posicionadas no inicio do canal de saída pós-geração da energia de uma UHE



Fonte: Usp (2007)

O projeto contou com a colaboração do biólogo e professor de gestão ambiental do CEULP/ULBRA, Prof. Mestre Mênfis Bernardes Alves. Em uma das visitas conjunta à Usina de Lajeado foram discutidos os aspectos relativos aos impactos ambientais como: qualidade da água, impacto no entorno e vida aquática. Em nenhum dos itens houve prejuízo, sendo portanto aprovado pelos órgãos ambientais. O projeto, de acordo com o prof. Mênfis, condiz como uma nova forma exploratória de gerar energia limpa sem agredir o meio ambiente.

No dia 20 de agosto de 2015 procurou-se o engenheiro elétrico responsável pelo dimensionamento dos geradores visando analisar os detalhes do projeto idealizado. O mesmo informou e confirmou a viabilidade do projeto, com a ressalva e haver uma grande variedade de alternativas de geradores que podem ser implantado no local.

#### **4.1 – UHE de Lajeado - Compensação Financeira pela Utilização dos Recursos Hídricos - CFURH**

O Estado do Tocantins e os municípios impactados pela formação do reservatório da Usina Luis Eduardo Magalhães da cidade de Lajeado recebem uma compensação financeira pela utilização dos recursos hídricos. A Investco recolhe à Aneel - Agência Nacional de Energia Elétrica - 6,75% do valor da energia produzida pela usina. Desse valor, 0,75% fica com a ANA- Agência Nacional de Águas - e os 6% restantes são assim distribuídos: 10% para a União, 45% para os Estados do Tocantins e de Goiás, e 45% para os municípios do Tocantins e os municípios impactados de Goiás. Os municípios do Tocantins que recebem compensação financeira são: Miracema, Lajeado, Palmas, Porto Nacional, Brejinho de Nazaré, e Ipueiras, Aliança do Tocantins e Santa Rosa do Tocantins. Os valores são de conhecimento público, disponíveis no site da ANEEL. Uma parte residual dos percentuais indicados é também repassada ao estado e municípios de Goiás impactados pela UHE Serra da Mesa, uma vez que ela é uma usina regulatória das vazões das usinas de jusante, onde se insere a UHE Luís Eduardo Magalhães.

#### **4.2 – Canal de Fuga da UHE de Lajeado**

Após coletar dados do canal de fuga da UHE de Lajeado, foi constatado que o mesmo delibera uma vazão nominal de  $700\text{m}^3/\text{s}$  por unidade de geração,

sendo cinco geradores Kaplan, 3500 m<sup>3</sup>/s de vazão média de água para o canal de fuga e uma queda líquida de 29 metros. A velocidade média da água no canal de saída dos geradores é de aproximadamente 35 km/h. A rotação por minuto (rpm) de uma unidade geradora é de 100rpm.

Pode-se utilizar a caixa multiplicadora como a velocidade angular das turbinas, em regra, varia entre 20 e 150rpm, e os geradores têm velocidade de trabalho entre 1200 e 1800 rpm, é interessante, comumente, um mecanismo de engrenagens para a multiplicação das rotações entre a turbina e o gerador. Existem geradores que não tem esses componentes. O eixo do rotor liga diretamente à carga.

**Figura 12** - Vista aérea da UHE da cidade de Lajeado – Canal de fuga à direita após turbinas



**Fonte:** Edp (2015)

A Fixação das unidades deverá ser feita no local da rocha recortada com base preparada para fixar os chumbadores, o eixo transversal será acoplado horizontalmente nas engrenagens da margem paralela aos respectivos geradores.

Depois de passar pela casa de força, a água utilizada para movimentar as turbinas é devolvida ao leito natural do rio através dos canais de fuga com grande velocidade e volume.

Após movimentar as turbinas da UHE, a velocidade, volume de água ainda tem a capacidade de rodar vários eixos de rodas de pás, podendo gerar mais energia limpa.

#### **4.3 Aumentando a capacidade geração da UHE de Lajeado**

Com potência instalada de 180,5 MW por unidade geradora, a Usina Luís Eduardo Magalhães tem uma potência instalada total de 902,5 MW que permite gerar aproximadamente 4.600.000 megawatts-hora por ano, em função da disponibilidade média de água no rio Tocantins, sendo assim com um conjunto de oito eixos de rodas de pás, poderia gerar até 30MW de geração de energia limpa no local, podendo suprir o consumo de energia de uma cidade de 100 mil habitantes de acordo com engenheiros elétricos da Cemig.

#### **4.4 Aspectos Ambientais.**

Devido à subestação da UHE de Lajeado estar disposta na proximidade do local instalado, a interligação deve ser feita por fiação aérea até a subestação local. Através de uma entrevista com o Biólogo e Professor de Gestão Ambiental da Ceulp/Ulbra Professor Mestre Mênfis Bernardes Alves, em duas ocasiões, para analisar possíveis impactos ambientais na região da implantação das Rodas de Pás.

O impacto ambiental com a instalação de rodas de pás no canal de fuga será mínimo, pois todo o impacto ambiental foi gerado na construção da UHE de Lajeado, previamente estudado, sendo assim a implantação dos geradores de rodas de pás no canal de fuga produzirá uma energia totalmente limpa no local.

As técnicas de regressão têm sido fundamentais para a econometria, e tornaram-se útil para os tomadores de decisão políticos, amplamente utilizados para previsão (FREEDMAN, 2005).

Segundo Krajacic (2011), os sistemas de energia no futuro serão baseados em quatro pilares: energia renovável, edifícios como plantas de energia positiva, armazenamento de energia e redes inteligentes, em

combinação com veículos elétricos e V2G (Vehicle-to-Grid). Investimentos em geração de energia hídrica, nuclear, eólica e fotovoltaica, bem como outras novas tecnologias de geração de energia estão crescendo continuamente.

Sobre o impacto ambiental, a energia elétrica proveniente da expansão da Usina Hidrelétrica de Lajeado é gerada a partir do aproveitamento da força das águas de um rio. Este processo é realizado através da movimentação das pás pela passagem das águas e em cujo eixo está acoplado a um gerador. O giro do eixo das pás possibilita que o gerador converta a energia do movimento das águas em energia elétrica.

Principais impactos ambientais negativos da expansão da UHE Lajeado:

- Alteram fortemente o ambiente e com isso prejudicam muitas espécies de seres vivos, exemplo: interferem na migração e reprodução de peixes;
- Alteram o funcionamento dos Rios;

Geram resíduos nas atividades de manutenção de seus equipamentos.

## 5 CONCLUSÕES

As estruturas dos mercados de energia estão mudando devido às novas tecnologias de geração e da chamada geração distribuídas e das redes inteligentes (smart grids).

O desenvolvimento socioeconômico de um país não seria possível, entre outros fatores, sem a utilização da energia elétrica. O Brasil, assim como os outros países, necessita de mais energia para atender suas necessidades de crescimento e melhoria da qualidade de vida de sua população. Para isso é necessário um aproveitamento eficiente de seu potencial hidráulico e a diversificação de sua matriz energética, além de utilizar-se de fontes geradoras alternativas e desenvolver novas tecnologias para obtenção de energia elétrica a menor custo e maior preservação do meio ambiente. É fundamental para o crescimento nacional que a energia produzida seja universalizada e que tenha qualidade em seu fornecimento. Para tanto a geração distribuída, que engloba as pequenas centrais hidrelétricas, entre outras fontes geradoras, é uma interessante alternativa para o cenário energético nacional, pois causa impactos ambientais de intensidade menor que aqueles oriundos da implantação de usinas hidrelétricas e outras fontes não renováveis, e promovem a descentralização da energia, já que permitem o melhor atendimento às necessidades de carga de pequenos centros urbanos, regiões rurais e localidades remotas.

Entretanto, devido a razões técnicas, como intermitência da geração, outras fontes devem ser integradas para oferecer suporte a redes desse tipo. Assim, a menos que asseguradas por sistemas de armazenamento de energia ou pela rede convencional já estabelecida, sistemas com 100% de geração a partir de fontes como PV ou eólica não são economicamente sustentáveis, mesmo em sistemas híbridos que combinem apenas essas duas tecnologias, sendo assim a rodas de pás no canal de fuga pode implementar um diferencial no mercado. Com isso, o desenvolvimento do armazenamento de energia elétrica é uma estratégia fundamental para o aumento da penetração das tecnologias rodas de pás no canal de fuga, PV e eólica. Além disso, sistemas de armazenamento podem aumentar o retorno do investimento em DG, possibilitando ao gerador fornecer energia em horários de pico de demanda, quando há preços mais elevados. Programas governamentais devem

apresentar políticas adequadas ao incentivo à adoção desses sistemas, visando o aumento da viabilidade da geração distribuída e assegurar a estabilidade dos sistemas.

Se a transição de um sistema centralizado de geração de energia para um sistema com apenas geradores pequenos distribuídos, formando concorrência perfeita, não for propriamente gerenciado, o mercado de energia poderá ser insustentável, e os fornecedores poderão ser afetados devendo cobrir preços abaixo de seu ponto de equilíbrio, o que pode afetar negativamente tanto os preços como os níveis de oferta atingidos. A recuperação de uma crise desse tipo pode apresentar aspectos irreversíveis no mercado.

Embora a disseminação de fontes renováveis alternativas na geração de energia elétrica tenha como obstáculos, o elevado custo tecnológico de alguns equipamentos e o aprimoramento de algumas tecnologias empregadas, é inegável que a sua maior participação na matriz energética brasileira trará resultados socioeconômicos positivos e maior atenção com o meio ambiente.

Uma proposta de estudo complementar ao presente trabalho é realizar um estudo para orçar os custos e implantação e um projeto de execução das obras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL – **Agencia Nacional de Energia Elétrica. Atlas de Energia Elétrica do Brasil**, ANEEL, Brasília: 2002.

ANEEL (Brasil) (Org.). **Capacidade de Geração do Brasil**. 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 15 out. 2015.

ANEEL et al (Org.). **Usina Hidrelétrica de Jupia (Três Lagoas - SP)**. 2015. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia\\_hidraulica/images/fig4\\_7.jpg](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_hidraulica/images/fig4_7.jpg)>. Acesso em: 15 out. 2015.

BAJAY, S. V; BADANHAN, L. F. **Energia no Brasil: os próximos dez anos. Sustentabilidade na Geração e uso de Energia**. 2002.

BOYLE, G. **Renewable Energy: Power for a Sustainable Future**. New York: Oxford University Press, 1996.

CENTRO DE REFERÊNCIA EM PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS (CERPCH). **Escola Federal de Itajubá – EFEI 2000**. Disponível em <<http://www.cerpch.efei.br>> Acesso em 04 out 2015.

DIMITRI MANSUR (Manhuaçu). **Turbina Francis**. 2015. Disponível em: <<http://www.alterima.com.br>>. Acesso em: 14 out. 2015.

EDP (Org.). **UHE Lajeado**. 2015. Disponível em: <<http://www.edp.com.br/geracao-renovaveis/geracao/tocantins/investco/a.aspx>>. Acesso em: 15 out. 2015.

EDP - INVESTCO (Tocantins) (Org.). **Projeto da Turbina Kaplan adotada na UHE de Lajeado**. 2015. Disponível em: <<http://www.edp.com.br/geracao-renovaveis/geracao/tocantins/investco/e.aspx>>. Acesso em: 15 out. 2015.

S.A, Eletrobrás Termonuclear (Org.). **A Energia Nuclear História, Princípios de Funcionamento**. 2001. Disponível em: <Eletrobrás Termonuclear. S.A. (ELETRONUCLEAR) 2001. A Energia Nuclear – História, Princípios de Funcionamento. Disponível em <http://www.eletronuclear.gov.br/funcionamento.htm>>. Acesso em: 15 out. 2015.

EUA. IEA. (Org.). **Understanding the electric vehicle landscape to 2020**. 2013. Disponível em: <[https://www.iea.org/publications/globalevoutlook\\_2013.pdf](https://www.iea.org/publications/globalevoutlook_2013.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2015.

FREEDMAN, D. **Statistical Models: Theory and Practice**, Cambridge University Press, 2005.

GRUBLER, A. **Energy transitions research: insights and cautionary tales**. Energy Policy 50 8–16, 2012.

HOUWING M, et al. **Uncertainties in the design and operation of distributed energy resources: The case of micro-CHP systems**. Energy 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (INEE). **GD e Cogeração**.

Disponível em: <<http://www.inee.org.br>>. Acesso em: 03 out. 2015

KRAJACIC, G., DUIC, N., TSIKALAKIS, A., ZOULIAS, M., CARALIS, G., PANTERI, E., CARVALHO, M.G. **Feed-in tariffs for promotion of energy storage technologies**. Energy Policy 39, 1410–1425, 2011.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **Mapas do SIN**. Disponível em: <<http://www.ons.gov.br>>. Acesso em: 18 out. 2015.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2003. 305 p.

PANORAMIO (Paraguay) (Org.). **Corte Lateral Turbina Kaplan**. 2015. Disponível em: <<http://www.panoramio.com/photo/11793894>>. Acesso em: 15 out. 2015.

PARANÁ, Governo do Estado (Org.). **Barragem da Usina Mauá está em fase final de construção**. 2015. Disponível em: <<http://www.aen.pr.gov.br/>>. Acesso em: 15 out. 2015.

PXL SEALS (France) (Org.). **Turbina Pelton**. 2015. Disponível em: <<http://www.pxlseals.com/br/turbina-pelton#.Vh-932u09CE>>. Acesso em: 15 out. 2015.

POLIZEL, L. H. **Metodologia de prospecção e avaliação de pré-viabilidade expedita de geração distribuída (GD): caso eólico e hidráulico**. 2007. 139p.

RAMAGE, J. **Hydroelectricity**. In: **BOYLE, G. Renewable Energy: Power for a Sustainable Future**. New York: Oxford University Press, 1996.

RUBIO, M.; FOLCHI, M. **Will small energy consumers be faster in transition? Evidence from the early shift from coal to oil in Latin America**. Energy Policy 50 50–61, 2012.

SOLOMON, B., KRISHNA, K. **The coming sustainable energy transition: history, strategies, and outlook**. b. Energy Policy 39 7422–7431, 2011.

SUN, Zuo; ZHANG, Xun-you. **Advances on distributed generation technology**: 2012 International Conference on Future Electrical Power and energy systems. 17. ed. China: Energy Procedia, 2012. 990 p.

USP (Org.). **USPAs usinas elétricas ou estações geradoras**. 2007. Disponível em: <[http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/ac/usinas\\_eletricas/](http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/ac/usinas_eletricas/)>. Acesso em: 15 out. 2015.

UNITED NATIONS. **1990 Energy Statistics Yearbook**, New York: United Nations, 1992.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: Planejamento e Métodos**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed Editora S.a, 2010. 248 p. Tradução: Ana Thorell; Revisão Técnica: Cláudio Damacena.