

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

DÊNIS IAGO SILVA



Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
PROCESSO DE GESTÃO DE IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PCH



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2016

DÊNIS IAGO SILVA

PROCESSO DE GESTÃO DE IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PCH

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Professor Leimar de OLiveira, M. Sc.

Campina Grande
2016

DÊNIS IAGO SILVA

PROCESSO DE GESTÃO DE IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PCH

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho a meus pais, pelo apoio incondicional ao longo desses anos para que esse sonho pudesse se tornar realidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e as inúmeras oportunidades que tive até hoje.

Agradeço a meu pai, José Claudeni da Silva, que sempre esteve ao meu lado se esforçando ao máximo para me proporcionar uma boa educação e principalmente me tornar um cidadão de bem.

Agradeço a minha mãe, Valdirene Joaquina da Silva por ser a melhor companheira e aliviar meu coração nos momentos de aflição. A meus irmãos, Igor e Isabelle, pelo carinho e preocupação comigo.

Agradeço a toda a minha família, tios, padrinhos, avós, primos. E aos amigos que conquistei por aqui.

Agradeço a INSTITUIÇÃO UFCG/DEE/COORDENAÇÃO, pela minha acolhida e pelas condições oferecidas, que me permitiram concluir este trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Leimar de Oliveira, pela paciência e tempo dedicado as sugestões.

Agradeço a todos os professores que tive desde o colegial até a universidade.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

“O futuro é uma equação que começamos a solucionar no presente.”

Autor Desconhecido.

RESUMO

O trabalho tem como objetivo o processo de implementação de uma Pequena Central Hidrelétrica onde é feita uma contextualização da geração hidrelétrica de pequeno porte na economia mundial e nacional além de contemplar uma visão geral do setor elétrico brasileiro e como as PCHs são nele inseridas, também é abordado as vantagens e desvantagens de uma PCH. Tem-se uma breve revisão bibliográfica onde são abordados os conceitos gerais sobre Pequenas Centrais Hidrelétricas, desde a definição legal, a legislação pertinente e sua classificação. Na conclusão ressaltam-se pontos que fortalecem cada vez mais a implantação de Pequenas Centrais Hidrelétricas no país, usando aspectos abordados no trabalho.

Palavras-chave: Pequenas Centrais Hidrelétricas, Projeto Básico, Energia.

ABSTRACT

The work aims at the implementation process of a small hydroelectric plant where a contextualization of hydroelectric small in the global and national economy is made not only includes an overview of the Brazilian electric sector and as SHPs are in it inserted, it is also discussed the advantages and disadvantages of a PCH. It is a brief literature review where the general concepts of Small Hydropower Plants are covered, from the legal definition, the relevant legislation and its classification. In conclusion they emphasize points that increasingly strengthen the implementation of Small Hydro Power Plants in the country, using aspects covered at work.

Keywords: Small Hydroelectric Plants, Basic Design, Energy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-Matriz energética no mundo nos anos de 1973 e 2006.	18
Figura 2- Geração de energia elétrica no mundo por tipo de combustível nos anos de 1973 e 2006.	19
Figura 3 - Principais potenciais hidrelétricos tecnicamente aproveitáveis no mundo.	19
Figura 4 - Potencial Hidrelétrico por Bacia Hidrográfica – 2008.....	21
Figura 5 - Ilustração de uma PCH.	31
Figura 6 - Tabela gráfica de seleção de turbinas para PCH.....	35
Figura 7 - Imagem de turbina Pelton.	36
Figura 8 - Desenho de uma turbina Banki - Mitchell.	37
Figura 9 - Imagem de turbinas Francis.	38
Figura 10 - Imagem de turbinas Kaplan.	38
Figura 11 - Imagem de turbina Hélice.	39
Figura 12 - Imagem de turbina Bulbo.	40
Figura 13 - Curvas típicas de rendimento das turbinas.	40
Figura 14 - Custo médio anual da unidade de energia em função da utilização anual da potência instalada, parametrizado em função do investimento por kW instalado;.....	43
Figura 15 - Fluxograma de Implantação de uma PCH.	53
Figura 16 - Fluxograma de Implantação de uma PCH.	53
Figura 17 - Cronograma da Identificação do Rio até Início da Operação.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - EMPREENDIMENTOS EM OPERAÇÃO EM NOVEMBRO DE 2008.	20
Tabela 2 – PANORAMA MUNDIAL COM RELAÇÃO À POTENCIALIDADE E USO DA HIDROENERGIA.....	22
Tabela 3 - Capacidade instalada de PCH no Brasil.	25
Tabela 4 - CLASSIFICAÇÃO DAS PCH QUANTO À POTÊNCIA E QUANTO À QUEDA DE PROJETO.....	33
Tabela 5- Estudos e Informações Necessárias para o Pré-Dimensionamento do Projeto.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Área
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BIG	Banco de Informação da Geração
BNDS	Banco Nacional de Desenvolvimento Social
CERPCH	Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas
CGH	Centrais Geradoras Hidrelétricas
EAS	Estudo Ambiental Simplificado
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EOL	Central Geradora Eolietétrica
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt hora
H _b	Altura Bruta de Queda
h	Hora
IEA	Agência Internacional de Energia
Km	Quilômetro
Km ²	Quilômetro Ao Quadrado (Área)
KW	Kilowatt
LP	Licença Ambiental Prévia
m	Metro
MRE	Mecanismo de Relação de Energia
MW	Megawatt
P	Potência
ONS	Operador Nacional do Sistema
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PNE	Plano Nacional de energia
Q _n	Vazão Nominal
SOL	Central Geradora Solar fotovoltaica
UHE	Usina Hidrelétrica de Energia

UTE	Usina Termelétrica
UTN	Usina Termonuclear
VG	Valor de Garantia

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	vi
Resumo.....	viii
Abstract.....	ix
Lista de Ilustrações.....	x
Lista de Tabelas.....	xi
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	xii
Sumário.....	xiv
1 Introdução.....	15
1.1 Objetivos.....	15
1.2 Organização do Trabalho.....	16
2 Panorama do Sistema Elétrico.....	18
2.1 PCHs no Mundo.....	22
2.2 PCHs no Brasil.....	23
2.3 Vantagens e Desvantagens das PCHs.....	26
3 Revisão Bibliográfica.....	29
3.1 O Conceito de PCH.....	29
3.2 Os Tipos de PCH.....	31
3.3 Metodologia na Fase de Anteprojeto.....	33
3.3.1 Potência a Instalar.....	33
3.3.2 Escolha da Turbina.....	34
3.3.3 Escolha do Gerador.....	41
3.3.4 Custos Estimados.....	42
4 Processo de Gestão da Implementação de Usinas.....	44
4.1 Gestão da construção de Usinas.....	44
4.1.1 Pré-Desenvolvimento - Definições Preliminares do Projeto.....	45
4.1.2 Detalhamento do Projeto e dos Processos de Gestão.....	47
4.2 Processo Regulatório: Obtenção da Autorização junto a ANEEL.....	49
4.2.1 Registro dos Estudos de Inventário Hidrelétrico.....	49
4.2.2 Registro para Elaboração do Projeto Básico.....	50
4.2.3 Aceite do Projeto Básico.....	51
4.2.4 Análise e Aprovação do Projeto Básico.....	51
4.2.5 Outorga de Autorização.....	51
4.3 Considerações Finais.....	52
5 Conclusão.....	55
Referências.....	56

1 INTRODUÇÃO

Ser favorecido por recursos naturais que se transformam em fonte de produção de energia é estratégico para qualquer país. Porque reduz dependência do suprimento externo e, em conseqüência, aumenta a segurança quanto ao abastecimento de um serviço vital ao desenvolvimento econômico e social. No caso dos potenciais hídricos, a esses argumentos favoráveis, somam-se outros dois: o baixo custo do suprimento na comparação com outras fontes e o fato das usinas hidrelétricas não provocar a emissão de gases causadores do efeito estufa.

A utilização de potenciais hidráulicos para a produção de energia é um assunto que merece enorme atenção dos administradores públicos e dos legisladores brasileiros. Seja pelo seu caráter de utilidade pública, por suas implicações ambientais e pelo princípio da utilização de bens da União, que são os cursos d'água, a construção e exploração de hidrelétricas é regida por um grande e detalhado arcabouço legal, que começa na Constituição Brasileira, passa por leis e decretos e chega a regulamentos e despachos, que detalham todos os aspectos da atividade.

As Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH representam, atualmente, uma forma rápida e eficiente de promover e complementar a expansão da oferta de energia elétrica, visando supri a crescente demanda verificada no mercado nacional. Esse tipo de empreendimento possibilita um melhor atendimento às necessidades de carga de pequenos centros urbanos e regiões rurais, uma vez que, na maioria dos casos, complementa o fornecimento realizado pelo sistema interligado. Por isso, além de simplificar o processo de outorga, o Governo concedeu uma série de benefícios ao empreendedor, para estimular os investimentos.

1.1 OBJETIVOS

A crescente necessidade de suprimento de energia elétrica para o consumo humano tem colocado a sociedade de frente a um dilema: como manter esse nível de desenvolvimento, tendo cuidado com os impactos ao meio ambiente. É consenso geral, que por mais que sejam tomadas as devidas precauções, a implantação de um

empreendimento destinado a geração de energia sempre vai alterar de alguma forma o ambiente no qual ele se insere.

Com uma solução alternativa às grandes usinas hidrelétricas (UHEs), surgem usinas com geração de energia limpa, ou renovável, que são, na verdade, soluções com diversos impactos, entre eles ambientais, porém muito inferiores aos impactos de UHEs ou usinas termelétricas (UTEs). A principal fonte de energia renovável no Brasil, em MW e sem gerar um alagamento de uma grande área em quilômetros quadrados, são as pequenas centrais hidrelétricas (PCHs).

O objetivo principal deste trabalho de conclusão de curso é o processo de implementação de uma Pequena Central Hidrelétrica, além do levantamento do cenário das PCHs no mundo e no Brasil bem como vantagens e desvantagens que essas apresentam.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A metodologia deste trabalho consiste em utilizar o método da pesquisa tipo bibliográfica e esta dividida como segue:

O Capítulo 1 é introdutório e destaca a relevância do trabalho e os objetivos principais e secundários. Observou-se que a relevância do tema deve-se ao importante papel que as PCHs desempenham na composição da oferta da energia elétrica no Brasil.

No Capítulo 2 é feita uma contextualização tanto no cenário nacional, destacando o grande potencial que o Brasil representa e a tecnologia dominada, quanto a mais de séculos de tradição em levantamentos e estudos de bacias hidrográficas. Destaca-se ainda a experiência internacional. Neste capítulo contempla ainda uma visão do panorama do sistema elétrico internacional e como as PCHs são nele inseridas, além das vantagens e desvantagens das PCHs.

No Capítulo 3, foram revisados os conceitos e a definição de PCHs, as possibilidades de classificação dos empreendimentos quanto à capacidade do reservatório, e quanto ao sistema de adução e à altura da queda. Também a metodologia da fase de anteprojeto, onde se tem a potência a instalar, a escolha da turbina, e qual vai ser mais adequada em cada situação. Trata-se também da escolha do gerador e uma estimativa de custos associados à instalação de uma PCH.

No Capítulo 4, Foi analisado o processo de outorga da autorização, tanto no que diz respeito aos trâmites junto a ANEEL, quanto em relação às interações com os órgãos ambientais. Observou-se que o processo como um todo, desde o levantamento do inventário do rio até a operação comercial, dura em média, nove anos. Por isso, é muito importante ter conhecimento de todas as etapas e contar com uma equipe especializada para atender as exigências legais, de forma a evitar erros e atrasos.

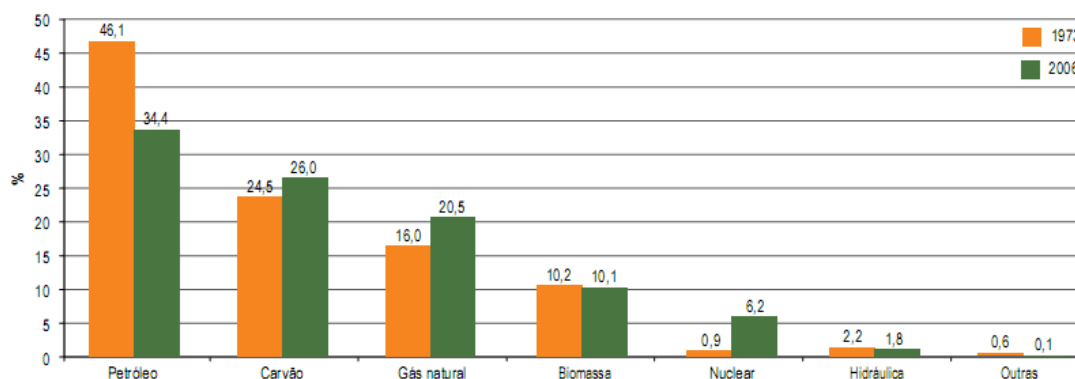
Por fim, no capítulo 5 a conclusão, de que o potencial de instalação de novas PCHs deve ser explorado de forma mais agressiva pelo governo e por seus órgãos que traçam metas, e operam o sistema elétrico do Brasil. As Pequenas Centrais Hidrelétricas têm características importantes que são muito desejadas na situação atual do país, a geração distribuída, o fato de ser uma fonte complementar gerando energia limpa renovável e por muitas vezes sem sobrecarregar o sistema de transmissão.

2 PANORAMA DO SISTEMA ELÉTRICO

A água é o recurso natural mais abundante na Terra: com um volume estimado de 1,36 bilhões de quilômetros cúbicos km^3 recobre 2/3 da superfície do planeta sob a forma de oceanos, calotas polares, rios e lagos. Além disso, pode ser encontrada em aquíferos subterrâneos, como o Guarani, no Sudeste brasileiro. A água também é uma das poucas fontes para produção de energia que não contribui para o aquecimento global – o principal problema ambiental da atualidade.

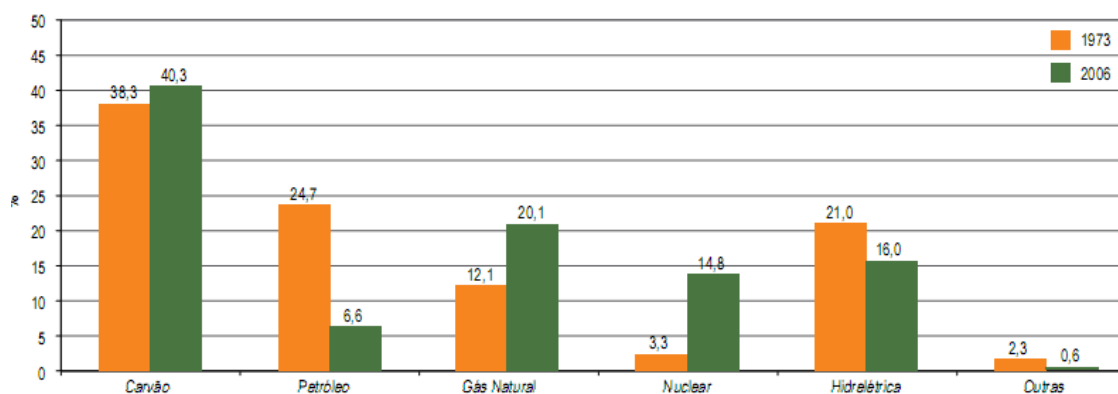
Mesmo assim, a participação da água na matriz energética mundial é pouco expressiva e, na matriz da energia elétrica, decrescente. Segundo o último relatório Key World Energy Statistics, da International Energy Agency (IEA), publicado em 2008, entre 1973 e 2006 a participação da força das águas na produção total de energia passou, conforme o gráfico da Figura 1, de 2,2% para apenas 1,8%. No mesmo período, como mostra a seguir o gráfico da Figura 2, a posição na matriz da energia elétrica sofreu recuo acentuado: de 21% para 16%, inferior à do carvão e à do gás natural. Vários elementos explicam esse aparente paradoxo. Do volume total, a quase totalidade está nos oceanos, à água doce restante, apenas aquela que flui por aproveitamentos com acentuados desníveis e/ou grande vazão podem ser utilizadas nas usinas hidrelétricas – características necessárias para a produção da energia mecânica que movimenta as turbinas das usinas

Figura 1-Matriz energética no mundo nos anos de 1973 e 2006.



Fonte: Atlas Energia Hidráulica.

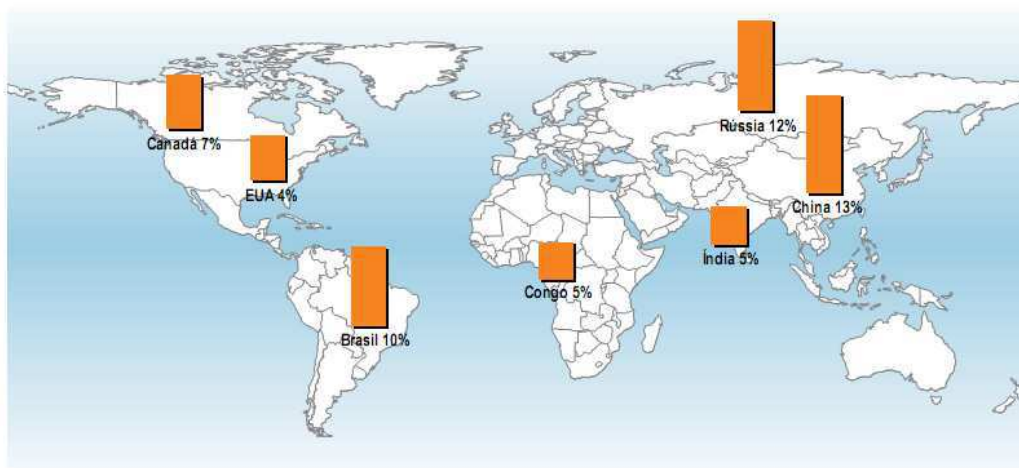
Figura 2- Geração de energia elétrica no mundo por tipo de combustível nos anos de 1973 e 2006.



Fonte: Atlas Energia Hidráulica.

“Nos últimos 30 anos, a oferta primária de energia hidráulica no mundo evoluiu concentradamente em duas regiões: Ásia, com destaque para a China, e América Latina, com destaque para o Brasil”. Com efeito, segundo o *Key World Energy Statistics* (IEA, 2005), em 1973 essas duas regiões respondiam por cerca de 10% da produção mundial de hidroeletricidade, proporção que se elevou para pouco mais de 31% em 2003. Nesse mesmo período, os países desenvolvidos já haviam explorado todos os seus potenciais, o que fez com que o volume produzido registrasse evolução inferior ao de outras fontes, como gás natural e as usinas nucleares.

Figura 3 - Principais potenciais hidrelétricos tecnicamente aproveitáveis no mundo.



Fonte: Atlas Energia Hidráulica.

Já no Brasil, de acordo com o Banco de Informações da Geração (BIG) da ANEEL, em novembro de 2008, existem em operação 227 CGHs, com potência total de 120 MW; 320 PCHs (2,4 mil GW de potência instalada) e 159 UHE com uma

capacidade total instalada de 74,632 mil MW. Em novembro de 2008, as usinas hidrelétricas, independentemente de seu porte, respondem, portanto, por 75,68% da potência total instalada no país, de 102,262 mil MW, como consta na Tabela 1. No passado, o parque hidrelétrico chegou a representar 90% da capacidade instalada.

Tabela 1 - EMPREENDIMENTOS EM OPERAÇÃO EM NOVEMBRO DE 2008.

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (KW)	Potência Fiscalizada (KW)	%
CGH	227	120.009	146.922	0,11
EOL	17	272.650	289.150	0,26
PCH	320	2.399.598	2.381.419	2,29
SOL	1	20	20	0
UHE	159	74.632.627	74.851.831	71,20
UTE	1042	25.385.920	22.585.522	24,22
UTN	2	2.007.000	2.007.000	1,92
Total	1768	104.815.824	102.261.864	100,0

Fonte: Atlas Energia Hidráulica.

Além disso, em todo o mundo, o Brasil é o país com maior potencial hidrelétrico: um total de 260 mil MW, segundo o Plano 2015 da Eletrobrás, último inventário produzido no país em 1992. Destes, pouco mais de 30% se transformaram em usinas construídas ou outorgadas. De acordo com o Plano Nacional de Energia 2030, o potencial a aproveitar é de cerca de 126.000 MW. Desse total, mais de 70% estão nas bacias do Amazonas e do Tocantins/Araguaia, como ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Potencial Hidrelétrico por Bacia Hidrográfica – 2008.



Os maiores entraves à expansão hidrelétrica do país são de natureza ambiental e judicial. No final de 2007 e início de 2008 uma polêmica ocorreu entre os formadores de opinião quando veio a público que a maior parte das obras estava atrasada em função da dificuldade para obtenção do licenciamento ambiental provocada por questionamentos na justiça, ações e liminares. Os opositores argumentam que as construções, principalmente na região da Amazônia, provocam impacto na vida da população, na flora e fauna locais, por interferirem no traçado natural e no volume de água dos rios. Entretanto, é necessário construir novas usinas - com impacto socioambiental mínimo - para produzir a energia suficiente para o crescimento econômico e ampliação da oferta de empregos.

2.1 PCHs NO MUNDO

As perspectivas mundiais para as PCHs têm se mostrado promissoras. Entretanto, os países que têm se destacado na construção destas são os desenvolvidos ou que estão em desenvolvimento, enquanto aqueles que mais têm carência energética permanecem à margem de mais este benefício. Na Tabela 2 consta-se um resultado da "ward Energy Conference/SO" (Bauer, 1981), que deixa clara a atual penúria hidroenergética das regiões não desenvolvidas, que, por ironia, são as que apresentam maior potencial.

Tabela 2 – PANORAMA MUNDIAL COM RELAÇÃO À POTENCIALIDADE E USO DA HIDROENERGIA

	Potencial médio avaliado [10 ³ W]	Produção atual [10 ³ MW]	Porcentagem utilizada
África	437,1	8,154	1,86%
Ásia	648,3	47,118	6,88%
Europa	215,4	103,998	48,28%
URSS	269,0	31,500	11,71%
América do Norte	330,5	90,210	27,29%
América do Sul	288,3	18,773	6,51%
Pacífico Sul	36,5	7,609	20,82%

Fonte: (Bauer, 1981)

Vários países têm programas de expansão para as PCHs, mas nenhum é tão arrojado quanto o chinês. Os dados disponíveis são bastante contraditórios, mas, para uma avaliação, cita-se os apresentados por Jingxi (1984) que diz haver, no final de 1983, 76.000 PCHs na China, com uma potência instalada total de 8.500 MW, gerando 20.000 GWh. Isto representa 23% da hidroenergia gerada e 42% da potência hidráulica instalada nesse país. Mais importante que estes números, são os que mostram a participação das PCHs no suprimento elétrico rural: as PCHs fornecem um terço dos 47.500 GWh de energia elétrica, gerada por diferentes meios, consumidos no meio rural. Com relação, ainda, ao meio rural, o governo chinês pretende, até o final deste século, aumentar o número de propriedades eletrificadas de 60% para 90% do total. Para isto está se intensificando ainda mais o programa de expansão das PCHs, pois julga-se que estas têm um potencial aproveitável de 70 GW.

Embora sem a grandeza do programa chinês, os EUA têm um interessante programa nesse setor. Este afirma que as PCHs poderão contribuir com 5% ou, até 17% do suprimento de energia elétrica nos EUA, tendo boas perspectivas em certas regiões, como a Califórnia e o Noroeste.

A França sempre foi um país com grandes tradições no setor hidrelétrico. Lá ocorreu uma diminuição do número de centrais, mas um aumento significativo da produção média de cada. Isto é o resultado da modernização executada nessas centrais.

As perspectivas para a França, relativas ao potencial para PCHs, não são das mais promissoras. Entretanto, há um contínuo incentivo a esses empreendimentos, pois eles representam um crédito de energia, o qual refletirá diretamente no custo de operação das centrais térmicas do sistema.

A Áustria também é um país com um razoável número de PCHs já realizadas, e vislumbra a possibilidade de expansão deste parque (Bauer, 1981-a). Fenômeno semelhante ao francês ocorreu nesse país, onde o número de centrais diminuiu, mas houve um aumento significativo na produção média destas, o que, como já se disse, é função da modernização das plantas. Considerando-se as dimensões do país, é um dos mais significativos exemplos de exploração das pequenas centrais.

Segundo o secretário executivo da OLADE, além do Peru e do Brasil, os seguintes países tem grande interesse em PCHs: Bolívia, Colômbia, Costa Rica, Cuba, Chile, Equador, Guatemala, Jamaica, Nicarágua, Paraguai, República Dominicana, Suriname e Venezuela. (São Paulo Energia, 1985).

2.2 PCHS NO BRASIL

Com uma conseqüência direta do grande crescimento dos custos dos insumos energéticos fósseis, tem se viabilizado economicamente diversas fontes de energia não convencionais. Muito embora as Pequenas Centrais Hidrelétricas já sejam formas tradicionais de suprimento energético, sobretudo em tempos passados, não há dúvida que seu ressurgimento se prende à transcendência que ora vivemos no que tange aos recursos energéticos. E nosso país reúne de forma feliz as condições para implantar um significativo programa de Pequenas Centrais Hidrelétricas, seja por possuir grande potencial hidráulico por explorar, seja pela necessidade de alimentar uma crescente demanda ou ainda por contar com a qualificação tecnológica requerida. Esta singular

combinação de fatores favoráveis é bem pouco comum no resto dos países, e atribui ao Brasil um papel fundamental para a independência e desenvolvimento de países irmãos do terceiro mundo.

No Brasil, as primeiras Centrais Hidrelétricas estavam vinculadas à industrialização no interior do país, a indústria têxtil, por exemplo, foi um dos principais vetores de expansão da geração hidrelétrica. O pioneiro Delmiro Gouveia, ao necessitar de energia elétrica para seu empreendimento, montou o que seria a primeira Hidrelétrica de Paulo Afonso. Ainda hoje existem muitas centrais em funcionamento, datando do começo do século XX, e que foram implantadas por indústria têxteis (Santos, 1984 e CPFL, 1982). O histórico da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL, 1982) mostra claramente o afirmado, além de relacionar a expansão industrial do interior de São Paulo com a construção da estrada de ferro, que, por sua vez, foi resultado da necessidade de se transportar o café. Este tinha deixado o Vale do Paraíba, já com o solo empobrecido, e avançado rumo a oeste. Este vínculo entre a agricultura e as PCHs é histórico na realidade nacional, e mostra-se novamente presente com o aparecimento de fronteiras agrícolas na Amazônia e Centro-Oeste. Ali as PCHs alcançam máxima eficiência econômica, além de ter grande benefício social.

Como já foi dito, a evolução dos preços do petróleo fizeram reverter muitas conclusões econômicas a respeito de fontes energéticas. Assim, o suprimento elétrico a regiões remotas no Brasil era feito, raras exceções, por meio de grupos Diesel. Hoje, todas as análises levam a conclusão de que uma PCH é mais econômica que o Diesel, mesmo onde os custos da central e da linha de transmissão tenham valores altos. Paralelo a este fenômeno, o sistema interligado começou a apresentar um custo marginal de expansão elevado. Isto é óbvio, pois os aproveitamentos mais econômicos e mais próximos dos centros consumidores já foram utilizados, restando os que estão remotos. Desta maneira, as PCHs começaram a se tornar econômicas também para os sistemas interligados.

A atual realidade tecnológica que vive o Brasil leva a construção de PCHs com equipamentos robustos, mas de engenharia bastante simples. Quando se diz simplicidade quer se dizer que não se exigirá das turbinas o mesmo rendimento de uma grande, ou os mesmos testes. Entretanto, esta turbina pode ser o resultado de um projeto que utilizou as mesmas técnicas sofisticadas que se empregam nos grandes projetos.

Capacidade instalada de PCH no Brasil:

TABELA 3 - CAPACIDADE INSTALADA DE PCH NO BRASIL.

Situação		PCH					
		2008		2009		2010	
		Qtd	MW	Qtd	MW	Qtd	MW
Em Operação		310	2.209	358	3.018	389	3.440
Em Construção		77	1.264	73	998	61	780
Autorização (outorgados)		161	2.396	145	2.067	147	2.048
Inventariado	Em processo de elaboração	169	-	470	1.042	550	669
	Em processo de aceite	20	560	52	560	30	-
	Em processo de Análise	86	1.775	129	4.443	203	3.768
	Disponíveis	484	2.649	396	8.738	493	9.071
Projeto Básico	Em processo de Registro	215	1.421	1.133	-	-	-
	Em processo de aceite	30	385	59	317	47	150
	Em processo de Análise	282	3.525	343	1.272	454	4.754
TOTAL		1.834,00	16.184,00	3.158,00	22.455,72	2.329,00	24.680,00

Fonte: Aneel, 31/12/2010

Segundo o BIG (Banco de Informações da Geração), o Brasil conta com 7,1 mil MW de potência disponível em pequenas centrais em operação, construção e outorgadas, mas sem construção iniciada. Desse total 1,9 mil MW são de usinas a serem construídas que já tem a potência outorgadas.

O Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas disponibiliza em seu site os dados de um estudo teórico que informa o potencial de instalação de pequenas centrais por região, esses dados mostram que ainda existe um potencial de crescimento já pesquisado de mais de 5 GW de potência.

Ainda no que diz respeito ao potencial teórico, o CERPCH desenvolveu uma série de trabalhos de estimar o potencial que ainda não foi estudado, levando em conta dados como: Vazões específicas das bacias e o desnível estimado por mapas do IBGE; Readequação de aproveitamentos inventariados anteriormente, tendo em vista os aspectos ambientais e de uso múltiplo de recursos hídricos, com as perspectivas de uma nova divisão de quedas da bacia.

Este estudo, que ainda encontra-se em fase preliminar, resultou nas seguintes estimativas: o potencial teórico estimado ainda não inventariado no Brasil é em torno de 15.453 MW, logo tem-se possivelmente um potencial de mais de 27 mil MW em PCHs no Brasil, assim existe um potencial muito grande a ser explorado visto que apenas 7,1 mil MW estão operando ou em construção.

2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS PCHS

As PCHs apresentam vantagens técnicas, ambientais e financeiras, quando comparadas às grandes obras do setor (MARTINEZ, 1994). De fato, há uma probabilidade maior de se encontrarem potenciais de geração via em PCHs mais próximos aos centros consumidores, economizando o custo do transporte; além de ser um empreendimento presente por todo território brasileiro, uma das vantagens de uma PCH é que as instalações resultam em maiores impactos ambientais positivos e se prestam à geração descentralizada. Este tipo de hidrelétrica é utilizada principalmente em rios de pequeno e médio porte que possuam desníveis significativos durante seu percurso, gerando potência hidráulica suficiente para movimentar as turbinas; outra vantagem é que se tem o conhecimento de engenharia para realização dos projetos e, a indústria brasileira como fornecedora. No âmbito econômico podemos dizer que as PCHs têm uma ótima taxa de retorno.

Adicionalmente verifica-se também que: a) é viável realizar os investimentos necessários apenas com aportes feitos pela iniciativa privada; b) é possível realizar simplificações no projeto quando comparado a gerações de maior porte; c) é possível considerar-se uma redução significativa do tempo para realização e execução do projeto; e d) pode-se contar com ganhos advindos da operação centralizada remota para um conjunto de PCHs.

Ressalte-se, ainda, que o processo de construção específico das PCHs apresenta simplificações regulatórias importantes com relação às usinas hidrelétricas de grande porte. Entre elas podem ser citadas: o processo de autorização pela ANEEL; O Estudo Ambiental Simplificado, EAS, è um estudo técnico elaborado por equipe multidisciplinar que oferece elementos para a análise da viabilidade ambiental de empreendimentos ou atividades consideradas potencial ou efetivamente causadoras de degradação do meio ambiente. O objetivo de sua apresentação é a obtenção da Licença Ambiental Prévia, LP; os benefícios fiscais, como o desconto na tarifa de uso do sistema de transporte; e a possibilidade de compartilhar o risco hidrológico com as grandes centrais, através do Mecanismo de Realocação de Energia (MRE).

A Empresa de Pesquisa Energética, EPE, em conjunto com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), lança eventualmente pacotes de financiamento, com participação de PCHs, que são conhecidos como os leilões de energia, em geral para entrarem em operação em 5 anos.

Mesmo com as vantagens apresentadas, a construção de PCHs ainda é um investimento que apresenta muitas incertezas e riscos para os empreendedores privados. Tais riscos são inerentes ao processo de construção - as condicionantes técnicas (hidráulicas e energéticas) são semelhantes aquelas das grandes obras do setor e as PCHs possuem ainda o agravante de serem mais sensível a variação do valor do empreendimento. Dessa maneira, torna-se vital para o sucesso da implementação do empreendimento um rigoroso processo de planejamento e controle da construção; assim como elas geram uma energia mais cara, pois nem sempre haverá fluxo d'água suficiente para fazer girar as turbinas, devido à seca em algumas épocas do ano, o que não acontece nas usinas maiores, onde sempre haverá água no reservatório.

Diferentemente do que ocorre em outros projetos de construção civil, o empreendedor que opta por ingressar no setor elétrico é submetido a um processo muito complexo, tanto do ponto de vista técnico (projeto civil e construção), quanto da influencia dos aspectos naturais no projeto, da complexidade e burocracia regulatória e dificuldade para obtenção das licenças ambientais. É freqüente a não conclusão dos projetos, assim como é freqüente chegarem ao final com um orçamento e prazo de conclusão muito superior a previsão inicial.

A Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL qualifica como pequeno os impactos ambientais causados na implantação de uma PCH. Com tanta degradação ao meio ambiente o desenvolvimento dessa atividade disciplinar demanda de uma base sólida capaz de sustentar com convicção os questionamentos que possam porventura ocorrer.

Os impactos da construção de uma PCH estão relacionados ao tamanho, volume, tempo de retenção do reservatório, localização geográfica e localização no continue de um rio. Os principais impactos detectados são:

- inundação de áreas agricultáveis;
- perda de vegetação e da fauna terrestres;
- interferência na migração dos peixes;
- mudanças hidrológicas a jusante da represa;

- alterações na fauna do rio;
- interferências no transporte de sedimentos;
- aumento da distribuição geográfica de doenças de veiculação hídrica;
- perdas de heranças históricas e culturais, alterações em atividades econômicas e usos tradicionais da terra;
- problemas de saúde pública, devido à deterioração ambiental;
- perda da biodiversidade, terrestre e aquática;
- efeitos sociais por realocação;

Todas estas alterações podem resultar de efeitos diretos ou indiretos, produzindo efeitos e impactos cumulativos, transformando inteiramente as condições biogeofísicas, econômicas e sociais de toda a área.

Embora a Agência Nacional de Energia Elétrica ANEEL, considere como baixos os impactos ambientais advindos da construção de uma PCH, as pesquisas efetuadas mostraram que em alguns casos esses impactos podem ser extremamente danosos e/ou irreversíveis para o ecossistema local.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O CONCEITO DE PCH

Sinteticamente a idéia de Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH's, sugere instalações que resultam em menores impactos ambientais e se prestam à geração descentralizada de energia elétrica.

Na primeira edição do Manual (ELETROBRÁS, 1982), uma Usina Hidrelétrica era considerada como uma PCH quando: A potência instalada total estivesse compreendida entre 1,0 MW e 10 MW, a capacidade do conjunto turbina-gerador estivesse compreendida entre 1,0 MW e 5,0 MW, não fossem necessárias obras em túneis (conduto adutor, conduto forçado, desvio de rio, etc.), a altura máxima das estruturas de barramento do rio (barragens, diques, vertedouro, tomada d'água, etc.) não ultrapassasse 10 m, a vazão de dimensionamento da tomada d'água fosse igual ou inferior a 20 m³/s.

Em função das mudanças institucionais e da legislação por que passa atualmente o país e da experiência acumulada nos últimos, torna-se importante o atualizar esses critérios. A Lei nº 9.648, de 27/05/98, autoriza a dispensa de licitações para empreendimentos hidrelétricos de até 30 MW de potência instalada, para Autoprodutor e Produto Independente. A concessão será outorgada mediante autorização, até esse limite de potência, desde que os empreendimentos mantenham as características de Pequena Central Hidrelétrica.

A Resolução da ANEEL 394, de 04/12/98, estabelece que os aproveitamentos com características de PCH são aqueles que têm potência entre 1MW e 30 MW e área inundada até 3,0 km², para a cheia centenária. Todas as limitações anteriores foram eliminadas.

Em 2003 a ANEEL através da Resolução 652 altera o limite máximo da área do reservatório, caso o limite de 3,0 km² seja excedido, o aproveitamento ainda será considerado PCH caso atenda pelo menos uma das seguintes condições:

I - A Inequação seja atendida:

$$A \leq \frac{14,3 \times P}{H_b} \quad (1), \text{ sendo } A \leq 13,0 \text{ km}^2,$$

Onde:

P = potência elétrica instalada em (MW);

A = área do reservatório em (km²);

H_b = queda bruta em (m), definida pela diferença entre os níveis de d'água máximo normal de montante e normal de jusante;

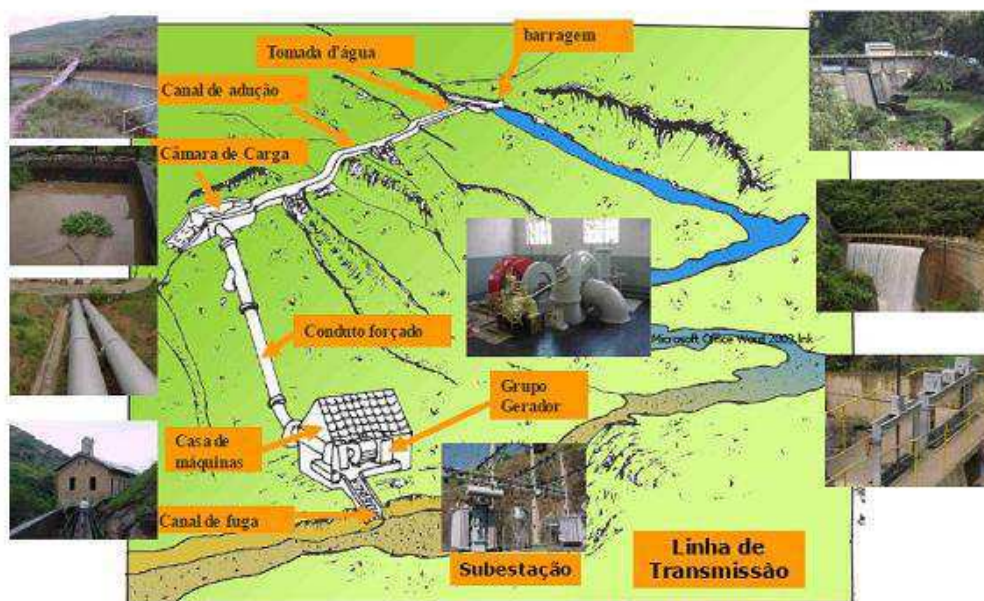
II - Reservatório cujo dimensionamento, comprovadamente, foi baseado em outros objetivos que não o de geração de energia elétrica.

A importância e o cuidado na caracterização de um aproveitamento hidrelétrico como PCH está relacionado, entre outros fatores, à preservação do aproveitamento ótimo do potencial hidrelétrico de um determinado sítio e às vantagens fiscais e tarifárias que uma PCH desfruta, estabelecidas com o objetivo de incentivar investimentos nesse tipo de projeto, especialmente pela iniciativa privada.

O princípio básico do funcionamento de uma PCH é a utilização de uma barragem para represar a água do rio em curso. No caso do excesso da água nos afluentes os vertedouros são utilizados para o extravasamento provocado pelo aumento da vazão do rio.

A água represada pode ser conduzida para a turbina por meio de tomada d'água, canal de adução, conduto forçado ou túnel. A edificação onde são localizados os equipamentos elétricos e mecânicos auxiliares e chamada de Casa de Força. Após passar pela turbina, a água é conduzida novamente ao rio pelo canal de fuga. A Figura 5 ilustra os principais itens que compõem a PCH.

Figura 5 - Ilustração de uma PCH.



Fonte: (Makaron, 2012)

3.2 OS TIPOS DE PCH

As pequenas centrais hidrelétricas são classificadas de acordo com as seguintes características: quanto à capacidade de regularização, quanto ao sistema de adução, quanto à potência instalada e quanto à queda de projeto.

Os tipos de PCH, quanto à capacidade de regularização do reservatório, são: a fio d'Água, de acumulação com regularização diária do reservatório, de acumulação com regularização mensal do reservatório.

A fio d'Água é empregada quando as vazões de estiagem do rio são iguais ou maiores que a descarga necessária à potência a ser instalada para atender à demanda máxima prevista. Nesse caso, despreza-se o volume do reservatório criado pela barragem. O sistema de adução deverá ser projetado para conduzir a descarga necessária para fornecer a potência que atenda à demanda máxima. O aproveitamento energético local será parcial e o vertedouro funcionará na quase totalidade do tempo, extravasando o excesso de água. Esse tipo apresenta algumas simplificações, como: dispensa estudos de regularização de vazões, dispensa estudos de sazonalidade da carga elétrica do consumidor e facilita os estudos e a concepção da tomada d'água.

Além dessas, apresenta também simplificações no projeto dentre quais: não havendo flutuações significativas do NA do reservatório não é necessário que a tomada

d'água seja projetada para atender a depleções do NA; do mesmo modo, quando a adução primária é projetada através de canal aberto, a profundidade do mesmo deverá ser a menor possível, pois não haverá a necessidade de atender às depleções; pelo mesmo motivo, no caso de haver necessidade de instalação de chaminé de equilíbrio, a sua altura será mínima, pois o valor da depleção do reservatório, o qual entra no cálculo dessa altura, é desprezível.

Estas barragens são comumente de pequeno porte, pois têm a função apenas de desviar a água para o circuito de adução e, uma vez que as áreas inundadas são pequenas, os valores despendido com indenizações também serão reduzidos.

PCH de acumulação é empregado quando as vazões de estiagem do rio são inferiores à necessária para fornecer a potência para suprir a demanda máxima do mercado consumidor e ocorrem com risco superior ao adotado no projeto.

Quanto ao sistema de adução, são considerados dois tipos de PCH: adução em baixa pressão com escoamento livre em canal / alta pressão em conduto forçado ou adução em baixa pressão por meio de tubulação / alta pressão em conduto forçado.

A escolha de um ou outro tipo dependerá das condições topográficas e geológicas que apresente o local do aproveitamento, bem como de estudo econômico comparativo. Para sistema de adução longo, quando a inclinação da encosta e as condições de fundação forem favoráveis à construção de um canal, este tipo, em princípio, deverá ser a solução mais econômica. Para sistema de adução curto, a opção por tubulação única, para os trechos de baixa e alta pressão, deve ser estudada.

As PCH podem ser ainda classificadas quanto à potência instalada e quanto à queda de projeto, como ilustrado na Tabela 4, adiante, considerando-se os dois parâmetros conjuntamente, uma vez que um ou outro isoladamente não permite uma classificação adequada.

TABELA 4 - CLASSIFICAÇÃO DAS PCH QUANTO À POTÊNCIA E QUANTO À QUEDA DE PROJETO

POTÊNCIA - P (kW)	QUEDA DE PROJETO – H _d (m)		
	BAIXA	MÉDIA	ALTA
P < 100	H _d < 15	15 < H _d < 50	H _d > 50
100 < P < 1.000	H _d < 20	20 < H _d < 100	H _d > 100
1.000 < P < 30.000	H _d < 25	25 < H _d < 130	H _d > 130

Fonte: Diretrizes para Elaboração de Projetos PCH.

3.3 METODOLOGIA NA FASE DE ANTEPROJETO

Para análises mais simplificadas, tendo em vista a determinação da potência e o número de grupos a instalar na fase de anteprojeto, é usual recorrer a critérios mais simples, e, em geral envolvendo uma dose de empirismo. São estas metodologias, usadas nas fases iniciais do projeto, que se abordam na seqüência.

3.3.1 POTÊNCIA A INSTALAR

Em instalações de PCH ligadas à rede nacional, a hipótese inicial deverá ser a instalação de um único grupo turbina-geradora.

Recorrendo à curva de duração de vazões, a turbina é dimensionada para uma vazão nominal turbinada, esta escolha depende da curva de duração e em grande parte, da experiência do projetista.

Definido a vazão nominal (de projeto) e tomando, nesta fase, como constantes a altura de queda e o rendimento, a potência é calculada pela equação, em KW é:

$$P = 8 \times Q_n \times h_b \quad (2)$$

O que equivale a tomar o rendimento global de todo o aproveitamento hidrelétrico, o valor de 81,6%. Q_n (m³/s) é a vazão nominal e h_b é a altura bruta de queda.

O rendimento global, que depende da vazão, é produto dos rendimentos do circuito hidráulico, da turbina, do gerador e do transformador, e ainda inclui os dispêndios de energia nos equipamentos auxiliares. Tomar 81,6% para o valor médio desse rendimento global parece ser otimista, para os pequenos aproveitamentos, nestes casos, será mais realista contar com os valores entre 60% e 70%, e, portanto o coeficiente da equação deverá ser reduzido para 6 ou 7.

Uma expressão prática de cálculo usada para determinar a potência elétrica (em KW) numa pequena central hidrelétrica é, portanto:

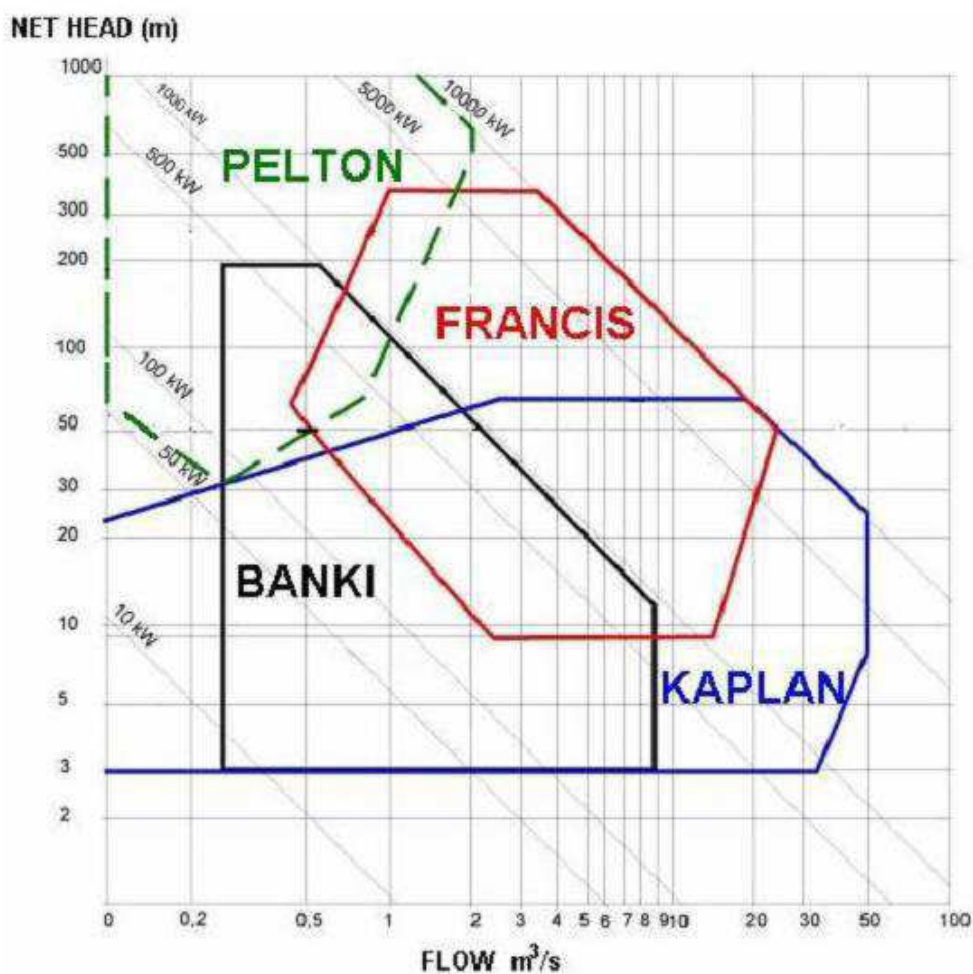
$$P = 7 \times Q_n \times h_b \quad (3)$$

3.3.2 ESCOLHA DA TURBINA

A turbina hidráulica corresponde a uma parcela muito significativa do custo de uma PCH (pode chegar até 50%), o que faz a sua seleção criteriosa de particular interesse.

A escolha da turbina resulta da interseção de três parâmetros - queda, vazão e potência. Na Figura 6 é ilustrada uma tabela usada na seleção de turbinas para pequenos aproveitamentos hidrelétricos.

Figura 6 - Tabela gráfica de seleção de turbinas para PCH.



Fonte: (Castro, 2002).

As turbinas podem ser divididas em dois tipos: turbinas de ação (ou de impulsão), ou seja, funciona à pressão atmosférica, e turbinas de reação, funcionando com uma diferença de pressão entre os dois lados do rotor. Qualquer um destes tipos é usado em PCH.

As turbinas de ação são mais adequadas a uma utilização caracterizada por quedas relativamente elevadas e vazões baixas. Nas PCHs, ainda assim, podem encontrar-se turbinas *Pelton* (de ação) funcionando com quedas intermediárias e com potências variando entre 500 KW e 12500 KW.

A energia potencial de queda é transformada em energia cinética no jato injetor e logo em seguida é convertida em energia elétrica no rotor da turbina, a *Pelton* é caracterizada por um rotor com pás ou conchas na periferia e por uma tubulação de adução com as pás do rotor e geram o impulso que faz com que haja o movimento necessário para geração de energia.

Figura 7 - Imagem de turbina Pelton.

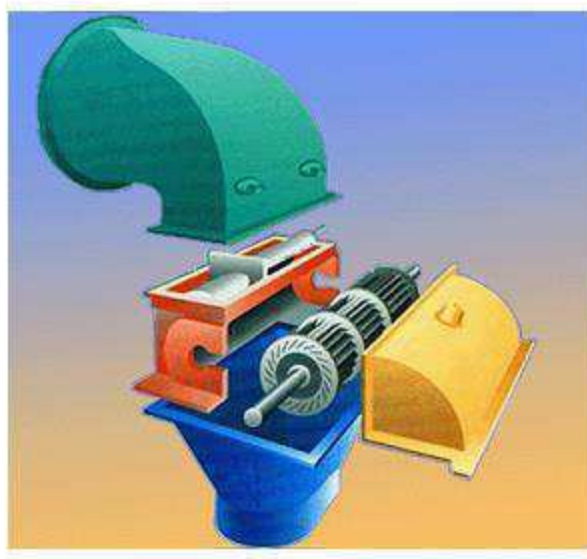


Fonte: (Castro, 2002).

Encontram-se no Brasil várias centrais hidrelétricas utilizando o sistema Pelton, porém o número é bastante reduzido quando comparado com as tradicionais Francis e Kaplan.

Outro tipo de turbina de ação usada principalmente nas baixas potências é a turbina *Banki – Mitchell*. O seu rendimento é inferior aos das turbinas de projeto convencional, mas mantém – se num valor elevado ao longo de extensa gama de vazões. Esta característica torna - a adequada à operação num espectro longo de vazões. A Figura 8 ilustra o desenho de uma turbina Banki – Mitchell.

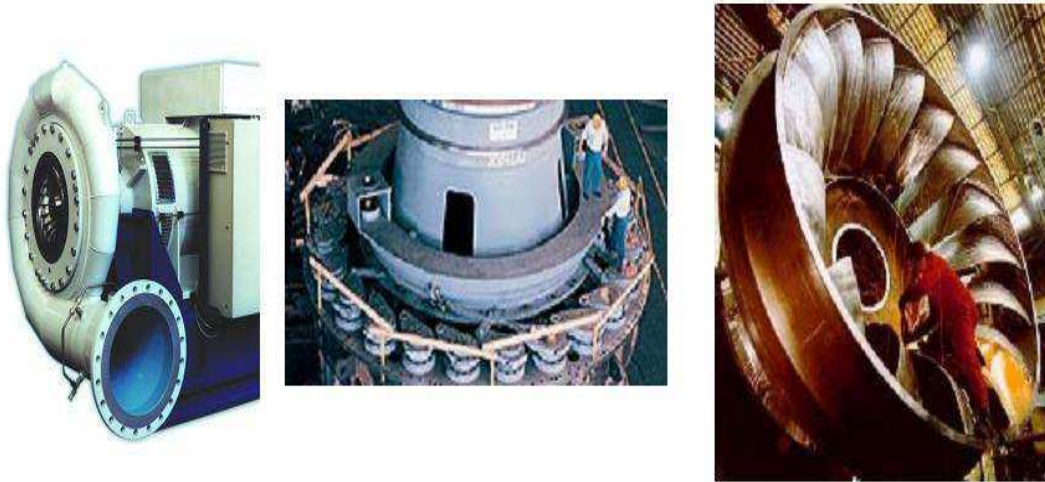
Figura 8 - Desenho de uma turbina Banki - Mitchell.



Fonte: (Castro, 2002).

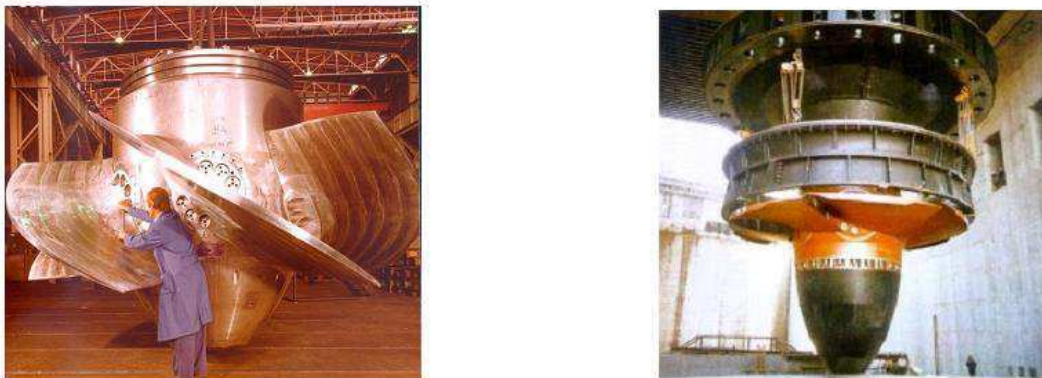
Nas turbinas de reação distinguem-se dois grandes grupos. As turbinas radiais, do tipo Francis são turbinas adequadas para operação com condições intermediárias de queda e de vazão. As turbinas axiais, do tipo Kaplan e hélice são indicadas para o funcionamento sob baixa queda e elevadas vazões.

Figura 9 - Imagem de turbinas Francis.



Fonte: (Castro, 2002).

Figura 10 - Imagem de turbinas Kaplan.



As turbinas hélice são não reguláveis (as turbinas de pás fixas possuem apenas regulação em vazio para adaptação a diferentes regimes de vazões) e por isso de constituição mais simples e robusta e têm menor manutenção. Em contrapartida, não tem a flexibilidade proporcionada pelas turbinas Kaplan, que são reguláveis. Essa regulação pode ser dupla – mobilidade das pás da roda e do distribuidor ou simples – apenas uma possibilidade de regulação. Neste último caso, é usual a opção pela regulação das pás da roda, por esta proporcionar uma curva de rendimento mais plana. (ver Figura 13).

Figura 11 - Imagem de turbina Hélice.



Fonte: PNE2030_Geração_Hidráulica

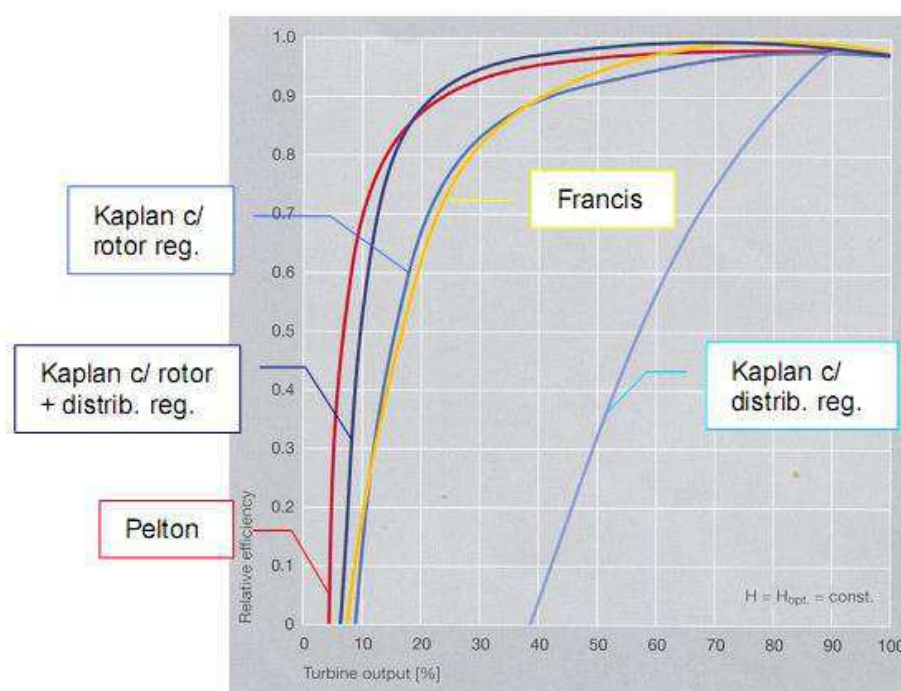
A turbina Bulbo é uma turbina de reação do tipo Kaplan, sendo utilizada para as quedas mais baixas, esse nome vem do fato do conjunto turbina-gerador ser instalado no interior de uma cápsula chamada bulbo. A turbina Bulbo com multiplicador atende quedas de 4 a 12 m e fornece potência de até 1700 kW. Essa turbina apresenta uma ótima flexibilidade de operação, trabalha satisfatoriamente sob cargas de até 10% da carga nominal. O multiplicador de velocidade é o fator limitante a potência da turbina. A turbina Bulbo apresenta-se como uma solução compacta da turbina Kaplan, o gerador é montado na mesma linha da turbina em posição horizontal ou quase horizontal.

Figura 12 - Imagem de turbina Bulbo.



Fonte: PNE2030_Geração_Hidráulica

Figura 13 - Curvas típicas de rendimento das turbinas.



Fonte: (Castro, 2002).

Outro fator a levar em conta é a variação da queda, que é particularmente significativa nos aproveitamentos de baixa e média queda. As turbinas Francis e Kaplan

são também sob este ponto de vista melhores que as turbinas hélice: as primeiras suportam variações de queda entre 65% e 125% da queda nominal, enquanto a faixa de variação da segunda é de apenas 90% a 110%.

Em aproveitamentos de muita pequena potência micro – centrais tem sido proposta a utilização de bombas funcionando no sentido inverso, como turbinas. Apesar de uma redução no rendimento e da impossibilidade de adaptação a vazão esta solução apresenta vantagens interessantes, tais como baixo preço, disponibilidade no mercado, fácil montagem e manutenção reduzida.

3.3.3 ESCOLHA DO GERADOR

A escolha do conversor mecânico – elétrico para equipar uma central mini-hídrica depende das especificações impostas à turbina, no que diz respeito ao rendimento, velocidade nominal, constante de inércia, tipo de regulação, etc.

Uma opção fundamental coloca-se entre o gerador síncrono (alternador) e o gerador assíncrono (ou de indução).

O gerador assíncrono constitui, em geral, a solução técnica e economicamente preferível, devido as suas conhecidas características de robustez e economia. Nas centrais de potência mais elevadas são exigidas soluções técnicas mais elaboradas e os aspectos econômicos são menos críticos, pelo que o gerador síncrono é normalmente eleito.

Independente do tipo construtivo, o custo dos geradores aumenta sensivelmente com o número de pólos, ou seja, diminui com o aumento da velocidade nominal. Daí a vantagem econômica associada ao uso de multiplicadores de velocidades e geradores de indução.

O gerador assíncrono dispensa um sistema de excitação, sendo esta fornecida pela própria rede à qual este ligado. A consequência é que o gerador assíncrono absorve energia reativa, que deve ser localmente gerada por meio de baterias de condensadores, para evitar o inconveniente trânsito de energia reativa através da rede.

3.3.4 CUSTOS ESTIMADOS

Naturalmente que a estimação de custos associados à instalação de uma PCH é uma tarefa complexa, dependendo, entre outros fatores, da potência instalada, da altura de queda e da ligação à rede receptora.

Os dados conhecidos permitem situar o investimento total numa gama de variação entre 1000 €/ KW e 3000 €/ KW, sendo o limite inferior correspondente a médias e altas quedas e potências superiores a 1000KW e o limite superior correspondente a baixas quedas e potências inferiores a 250 kW.

O custo médio anual atualizado (€/KW) é dado por:

$$C = \frac{(i + C_d) \times C_p}{h_a} \quad (4)$$

Em que:

- i – Inversor do fator presente da anuidade, dado por $i = \frac{(1+a)^n \times a}{(1+a)^n - 1}$, sendo “a” taxa de atualização e n o número de anos de vida útil da instalação.
- C_p – Custo de investimentos por W instalado (€/KW).
- h_a – Utilização anual da potência instalada (h).
- C_d – Custos diversos, em percentagem do investimento total.

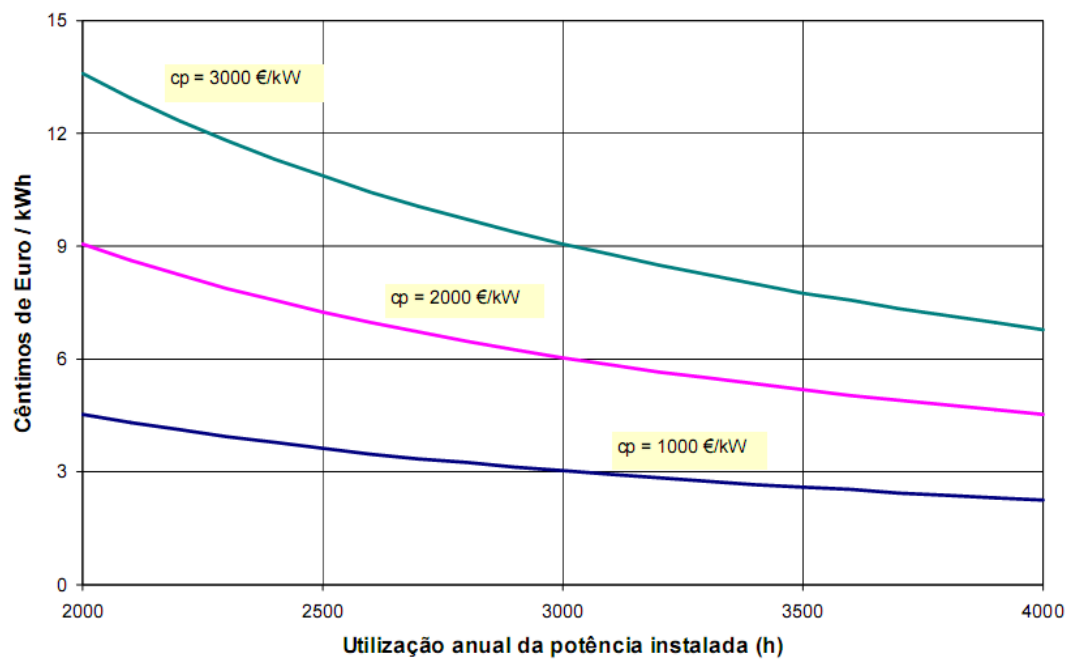
O período útil da instalação foi tomado igual há 30 anos. Para os custos diversos tomou-se o valor de 1 % do investimento total. A taxa de atualização considerada foi de 7 %.

Na Figura 14 ilustra-se a curva de variação do custo médio anual da unidade de energia produzida em função da utilização anual da potência instalada, parametrizada em função do investimento por unidade de potência instalada

De forma a garantir a adequada rentabilidade econômica, a experiência mostra que as PCH em operação apresentam valores da utilização anual da potência instalada médio de 3000 horas.

De acordo com a legislação em vigor, que estabelece a fórmula de cálculo da remuneração da energia entregue à rede pública, cada unidade de energia com origem em PCH injetada na rede pública é pago um valor em torno de 6 a 7 Cêntimos.

Figura 14 - Custo médio anual da unidade de energia em função da utilização anual da potência instalada, parametrizado em função do investimento por kW instalado;



Fonte: (Castro, 2002).

Na Figura 14 permite concluir, em primeira aproximação e para as condições médias enunciadas, a viabilidade econômica da instalação só será assegurada se o investimento unitário se situar abaixo de 2000 €/KW, o que afasta as instalações com quedas e potências baixas.

4 PROCESSO DE GESTÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE USINAS

A exploração de um determinado potencial hidrelétrico é uma atividade sujeita a uma série de regulamentações de ordem institucional, ambiental e comercial. Durante o processo de implantação do empreendimento, atividades multidisciplinares constituem o arcabouço legal de todo o projeto.

Projeto Básico é o equivalente para PCH, ao que é estudo de viabilidade para UHEs, e se trata de um estudo de engenharia do eixo do aproveitamento integrante da alternativa de divisão de queda selecionada nos estudos de inventário hidrelétrico aprovados pela ANEEL, que tem como objetivo principal determinar o potencial hidrelétrico correto, visando sua otimização técnico-econômica, levando em consideração a topografia, questões ambientais e hidrológicas, entre outros aspectos.

Os pontos crítico para a implantação de uma usina são as etapas para obtenção da outorga e licenças ambientais e o período da construção efetiva da usina. O objetivo desta seção é detalhar as etapas que compõem cada um desses processos. Sendo vital para o sucesso do projeto que o empreendedor as conheça profundamente.

4.1 GESTÃO DA CONSTRUÇÃO DE USINAS

O processo de construção de uma PCH se inicia com a etapa de pré-desenvolvimento, na qual são levantados os dados iniciais e realizadas a análise, de viabilidade preliminar e a avaliação de riscos do projeto. Nesse momento o empreendedor tem que entrar com a solicitação do inventário no ao órgão regulador, a ANEEL.

Caso a análise aponte para a viabilidade do projeto, este passa a fase de desenvolvimento. Nesta fase são realizados levantamentos mais abrangentes, detalhados e completos. É o momento em que se elabora o projeto básico do empreendimento. Antes de entregar o projeto básico a ANEEL é necessária a obtenção da Licença Prévia no órgão ambiental local.

Constituem a terceira etapa do processo de construção: a) a contratação dos equipamentos e das empreiteiras; b) a contratação dos consultores que participaram do projeto; c) a elaboração do projeto executivo do empreendimento; e d) o planejamento de implantação da obra.

4.1.1 PRÉ-DESENVOLVIMENTO - DEFINIÇÕES PRELIMINARES DO PROJETO

A gestão do processo de construção tem início com a fase de pré-desenvolvimento. Nessa fase é realizada uma análise preliminar, do ponto de vista técnico, do potencial que se pretende explorar, incluindo o levantamento em campo e a elaboração de um estudo inicial, do ponto de vista econômico-financeiro, realizando-se ainda a análise de viabilidade financeira e uma análise de riscos.

O estudo de inventário dos potenciais hidrelétricos do rio ou bacia onde se deseja construir uma PCH é a primeira etapa do processo. Um bom local para a implantação de uma PCH deve atender aos seguintes requisitos: disponibilidade local de uma queda natural acentuada, possibilidade de construção de uma barragem de pequena altura, ombreiras e fundações com condições geotécnicas adequadas, disponibilidade local de jazidas de materiais de construção em quantidades adequadas do empreendimento e condicionantes ambientais não críticos. Os estudos preliminares são de importância vital, uma vez que é a partir deles que se faz a escolha da configuração final dos potenciais.

Uma vez levantados os melhores potenciais e realizado o projeto preliminar para cada empreendimento, conforme afirma Martinez (1994), o pré-dimensionamento de uma PCH deve alcançar um nível de detalhamento que permita ao projetista ter o valor da capacidade a ser instalada na central, o seu número de unidades geradoras, o custo aproximado de uma usina e um arranjo básico, e uma primeira aproximação da casa de máquinas e do sistema elétrico.

Apesar de o pré-dimensionamento ser uma etapa inicial, há alguns cuidados que devem ser tomados no momento da configuração básica dos empreendimentos. Faz-se necessária a elaboração de estudos dos recursos hidráulicos, definidos principalmente por uma queda e um regime de vazão. Devem ser estudadas as variações periódicas ou sazonais de regularidade e flutuação da vazão do rio, hidrologia, climatologia, estiagem, regime de enchentes anuais, assim como o comportamento em casos excepcionais:

grandes enchentes, amplitude de sismos etc. (MOREIRA et al., 2006). Esses aspectos influenciam diretamente na viabilidade do projeto.

A interligação com a rede básica deve ser considerada para o projeto de uma pequena central hidrelétrica desde a etapa inicial. O ideal é que a localização do ponto de geração possa situar-se, na medida do possível, perto do ponto de consumo potencial ou de uma linha de transmissão existente, a fim de reduzir os custos de transporte de energia (MOREIRA et al., 2006).

Uma vez definidas as configurações básicas do projeto, é realizada a análise de viabilidade preliminar do empreendimento. No pré-desenvolvimento ainda não há informações suficientes para se desenvolverem estimativas mais precisas ou detalhadas, somente um levantamento preliminar, mas com isso é possível fazer uma estimativa de ordem de magnitude. Na Figura 17 são elencados por Martinez (1994) os estudos e informações mínimos necessários para a fase de pré-dimensionamento do projeto.

TABELA 5- ESTUDOS E INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DO PROJETO

Estudo/Levantamento de Informações	Descrição
Estudos Topográficos	Fotografias aéreas, mapas e plantas preexistentes e confirmação em campo dos dados levantados
Estudos Geológicos e Geotécnicos	Pesquisa estimada em dados preexistentes
Dados Hidrometeorológicos	Análise dos dados fluviométricos de estação de medição já existente na região
Informações socioeconômicas	Caracterização da população local; levantamento de estrutura regional; existência de parques ou monumentos de caráter histórico, cultural ou turístico e existência de reserva indígena na área utilizada ou redondezas.
Informações Ambientais	Dados da flora e fauna locais

Fonte: (Martinez, 1994).

Como etapa final do pré-desenvolvimento, é fundamental realizar uma análise dos riscos do investimento. No contexto de gestão de projetos, o autor Tinsley (2000) define sucintamente risco como qualquer fator que poderá afetar o fluxo de caixa esperado do projeto.

4.1.2 DETALHAMENTO DO PROJETO E DOS PROCESSOS DE GESTÃO

Uma vez que se tenha optado pela elaboração do projeto, após os estudos preliminares é necessário um estudo mais elaborado das condições hidráulicas, geológicas, energéticas e ambientais. Segundo Carneiro (2010), é importante a realização de cuidadosa avaliação de todos os aspectos do projeto, visando minimizar ao máximo os riscos de surpresa, em particular aqueles ligados às condições geológicas e hidrológicas, cuja avaliação imprecisa pode acarretar a inviabilização do empreendimento.

Todas as estruturas deverão ser pré-dimensionadas com base nos diversos parâmetros determinados ou estimados anteriormente. Cabe destacar que os aspectos topográficos do sítio condicionam, de forma significativa, os estudos das alternativas de arranjo. Selecionado o arranjo do aproveitamento, passa-se para a fase de projeto das obras civis.

Na fase do projeto básico das obras civis de PCH's, há que se considerar os condicionantes relativos à implantação dos seguintes tipos de estruturas: Barragens; Vertedouro; Circuito hidráulico (canal de adução, tomada d'água, sistema de adução, casa de força e canal de fuga) ; Obras civis auxiliares (desvio do rio, enscadeiras, estradas de acesso, etc).

Nessa fase, desenvolve-se o dimensionamento final das estruturas, o que possibilitará a determinação do potencial hidrelétrico do empreendimento, utilizando-se as fórmulas tradicionais para cálculos das perdas de carga ao longo do circuito hidráulico de adução. A partir da série de vazões médias mensais e do potencial disponível, serão elaborados os estudos energéticos definitivos e determinada a potência a ser instalada na PCH. Com base na potência a ser realmente instalada, procede-se ao dimensionamento final dos equipamentos eletromecânicos principais.

Após a definição final do projeto do empreendimento, as estimativas definitivas podem ser desenvolvidas. Nessa fase, há uma compreensão clara do alcance e das capacidades do projeto, e, por isso, alterações nas especificações do projeto são praticamente inexistentes. Além disso, um plano de projeto completo está no lugar, todas as atividades e sua seqüência necessária para a conclusão do projeto foram identificadas, e todas as ordens de compra importantes foram apresentadas, com base em preços conhecidos e disponibilidades de materiais e equipamentos.

Dessa forma, o arranjo final do projeto da PCH será caracterizado, sendo feitos os ajustes complementares que se fizerem necessários. Por exemplo, as dimensões do circuito de adução e da casa de força deverão ser revisadas, em função das dimensões definitivas dos equipamentos eletromecânicos principais. A partir da definição do arranjo final do projeto, serão realizados os estudos de planejamento da construção e montagem, os estudos ambientais definitivos e os estudos de manutenção e operação, estabelecendo-se ainda a estimativa final dos custos do empreendimento. Finalmente, considerando-se o custo total do empreendimento, os quais incluirão os custos de operação e manutenção e a energia firme a ser gerada anualmente, será realizada a avaliação final do empreendimento.

As estimativas são previsões de custos futuros, há sempre a possibilidade de erro, e o aumento dos custos é mais norma do que exceção. Com isso, é necessário prever uma quantia adicional nos custos, de modo que os fundos efetivamente atribuídos ao projeto sejam suficientes. É um aspecto importante para a viabilidade do projeto, pois oferece certa proteção contra elementos desconhecidos e contra incertezas que podem inviabilizar o empreendimento. Como regra geral, quanto maior o grau de incerteza, maior a quantidade adicional nos custos é necessária.

Uma estimativa de custos bem elaborada é o principal meio para avaliar a viabilidade do projeto. Além de ser uma fonte de informação para a definição e a quantificação do financiamento, ela fornece um padrão contra o qual as despesas efetivamente incorridas durante o curso do projeto podem ser comparadas, e serve ainda como base para o controle de custos (VENKATARAMAN E PINTO, 2008).

Uma estimativa de custos subestimada pode causar sérios problemas no decorrer da construção, principalmente no que diz respeito ao gerenciamento do fluxo de caixa e ao custo de captação de capital adicional. Segundo Venkataraman e Pinto (2008), as principais causas de estimativas iniciais baixas são: a subestimação da complexidade e a magnitude do projeto ou a avaliação do projeto feita de forma isolada, sem se considerar o impacto das demais atividades externas a ele, como também as dificuldades técnicas inesperadas, em consequência de um projeto inicial pobre ou de complexidade técnica não prevista. Fatores externos, tais como inflação, taxa de juros, questões ambientais e flutuações cambiais também podem interferir no custo inicial projetado, principalmente no caso de ampliação do cronograma de construção do projeto.

Entre as causas dos atrasos no cronograma e do estouro do orçamento em obras de geração hidrelétrica, devem ser considerados os problemas no projeto inicial. Entre

eles os decorrentes de estimativas feitas com base em dados inadequados ou incompletos, em virtude de suposições irrealistas ou de um inadequado levantamento dos aspectos geológicos e técnicos. Os motivos que podem ser levados em conta são as mudanças consideráveis no escopo do trabalho, como mudança do local da barragem, atraso na aquisição de equipamentos devido ao tratamento na conclusão final das propostas, e ainda mudança de pessoal-chave no decorrer das etapas de planejamento e execução. Outras razões recorrentes podem ser motivadas por aspectos políticos, como o atraso na emissão da autorização da outorga e licenças ambientais pelos órgãos responsáveis, ou ainda por razões naturais, como chuvas e enchentes sem precedentes durante o período de construção.

4.2 PROCESSO REGULATÓRIO: OBTENÇÃO DA AUTORIZAÇÃO JUNTO A ANEEL

Nesta subseção serão revisadas as etapas regulatórias para a autorização com base na legislação vigente. A ANEEL regulamentou o processo de autorização para as PCHs com a resolução normativa nº 343, de 9 de dezembro de 2008. Estabelece procedimentos para registro, elaboração, aceite, análise, seleção e aprovação de projeto básico e para autorização de potenciais PCHs para produtores independentes e autoprodutores.

4.2.1 REGISTRO DOS ESTUDOS DE INVENTÁRIO HIDRELÉTRICO

O primeiro passo para a autorização é o inventário do rio, que consiste no levantamento dos potenciais para construções de usinas, considerando o equilíbrio entre a maior capacidade de geração, menor custo e menor impacto ambiental. Pela legislação que trata desse inventário, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) é responsável por identificar e quantificar os potenciais de recursos energéticos. Mas na prática somente é realizado para os grandes empreendimentos. O estudo de inventário para PCHs é realizado pelos empreendedores, podendo ser pessoas físicas e jurídicas, e para posteriormente solicitar o registro do inventário junto a ANEEL.

Uma vez aceito o registro pela ANEEL, o levantamento em campo pode ser realizado mediante depósito caução de 5% da previsão de dispêndios, a ser devolvida

posteriormente. No caso de PCH, o investidor terá direito a ressarcimento dos custos com o inventário.

4.2.2 REGISTRO PARA ELABORAÇÃO DO PROJETO BÁSICO

A efetivação da condição do registro se dará por meio de despacho, sendo informado das causas no caso em que o pedido de registro não seja concedido. Assim sobre os estudos de inventário, o registro para projeto básico poderá assumir duas condições: Registro ativo: considerado válido e eficaz; e Registro inativo: registro ativo que venha a se tornar insubsistente, por descumprimento das normas ou por outro motivo considerado relevante. Para o registro da elaboração do projeto básico é necessário que o registro de inventário esteja aprovado, e que tenha sido efetuado o depósito do aporte da garantia. Após aprovação o investidor tem o prazo de 14 meses para apresentação do projeto básico, podendo este prazo ser prorrogado em casos excepcionais ou de força maior.

Estando o registro na condição de ativo, o interessado deverá apresentar relatórios trimestrais contendo o andamento e a evolução dos trabalhos bem como as articulações com os demais órgãos, como a ANA e os órgãos ambientais envolvidos visando uma correta definição do potencial hidráulico.

O empreendedor tem até cento e oitenta dias da efetivação do primeiro registro na condição de ativo para manifestar formalmente sua desistência em prosseguir no processo. A partir do momento em que for protocolado o projeto básico na ANEEL o investidor não poderá desistir de prosseguir com o projeto.

Somente com a confirmação de que não haja ações indenizatórias ou outros problemas do gênero, o valor da garantia será devolvido. O valor da garantia é calculado conforme a equação (5) abaixo:

$$VG = \frac{[V_{max}(P-1.000) - V_{min}(P-30.000)]}{29.000} \quad (5)$$

Onde:

P = Potência da PCH estimada no estudo de inventário aprovada pela ANEEL, em KW;

V_{min} = Valor mínimo da garantia = R\$ 100.000

V_{max} = Valor máximo da garantia = R\$ 500.000

4.2.3 ACEITE DO PROJETO BÁSICO

O projeto deve ser elaborado conforme os documentos “Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas” (Eletrobrás, 2000) e “Diretrizes para Elaboração de Serviços de Cartografia e Topografia, Relativos a Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCHs”.

O projeto apresentado não poderá conter alterações infundadas com relação ao potencial aprovado no estudo de inventário. Pequenos ajustes são aceitos.

No caso de apresentação de mais de um projeto os critérios que definirão as ordens de prioridades são: (1) projeto com condições de obter o aceite dentro dos prazos estabelecidos; (2) projeto do titular da elaboração do respectivo estudo de inventário; e (3) empresa, consórcio ou pessoa física que for proprietário da maior área a ser atingida pelo reservatório do aproveitamento em questão, com documentação devidamente registrada em cartório de imóveis até o prazo de quatorze meses após a efetivação do primeiro registro na condição de ativo.

4.2.4 ANÁLISE E APROVAÇÃO DO PROJETO BÁSICO

Após o aceite de um dos projetos básicos, inicia-se a fase de análise técnica. O projeto básico será avaliado quanto à obtenção do licenciamento ambiental pertinente e quanto aos parâmetros da reserva de disponibilidade hídrica. A aprovação considera itens como: (i) aspectos legais; (ii) apresentação; (iii) conteúdo do relatório texto; (iv) desenhos e mapas.

Para que o projeto básico tenha a aprovação final, o interessado deverá apresentar o licenciamento ambiental aprovado, bem como a reserva de disponibilidade hídrica, que deverão estar de acordo com o projeto.

4.2.5 OUTORGA DE AUTORIZAÇÃO

Após a aprovação do projeto básico, se inicia a fase de solicitações de outorgas, onde o interessado deverá protocolar, em até trinta dias, prorrogáveis por igual período, a critério da ANEEL, os seguintes documentos originais ou cópias devidamente autenticadas: (1) Informação de Acesso emitida pela concessionária de distribuição, transmissão ou pelo ONS a respeito da viabilidade e do ponto de conexão do

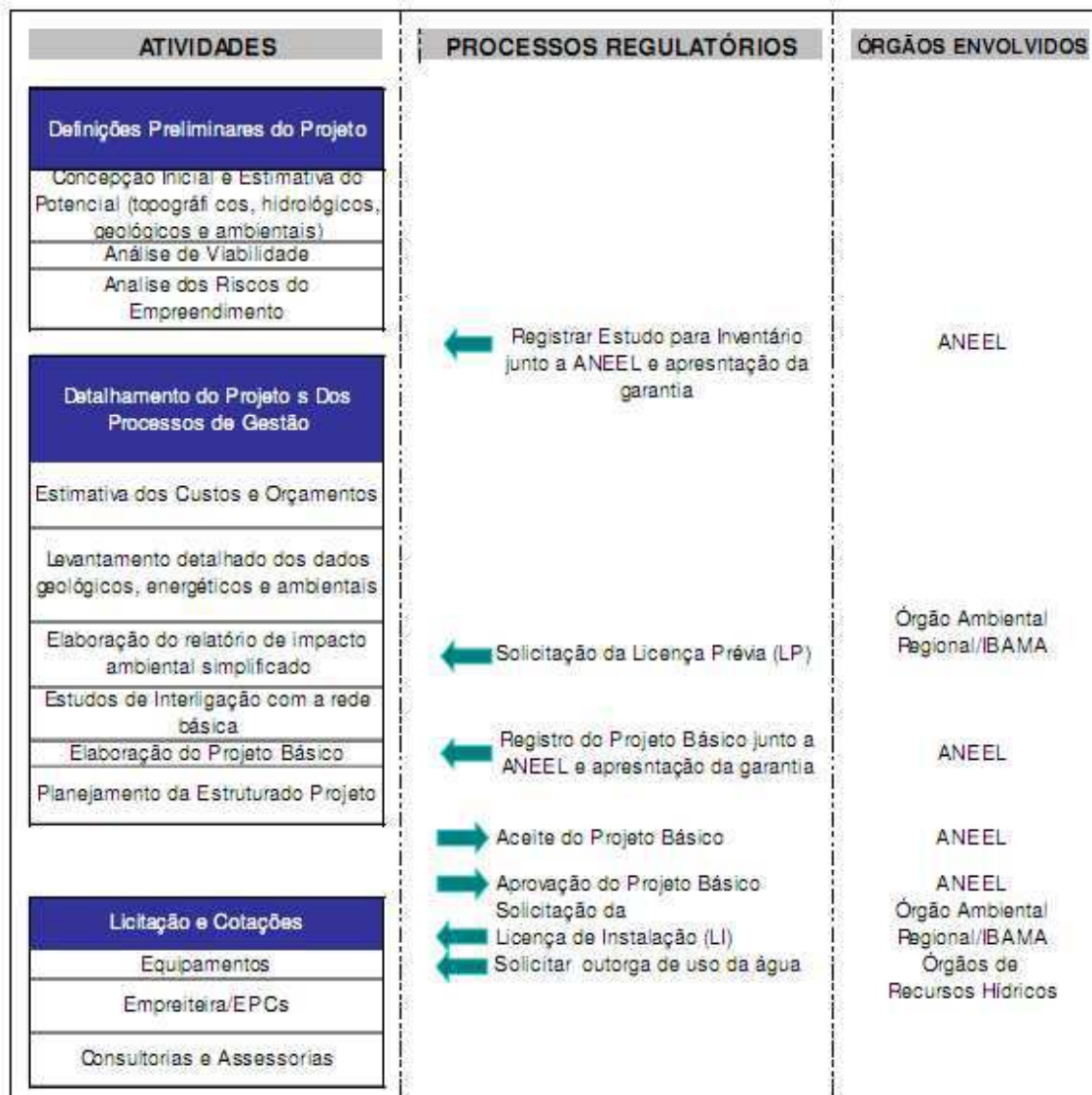
empreendimento; (2) Certidões de regularidade de natureza tributária e certidões de falência e concordata; (3) Cronograma físico completo atualizado da implantação do empreendimento, apresentado por meio de diagrama de barras e tabela; (4) Comprovante de aporte de garantia de fiel cumprimento.

A garantia de fiel cumpridor para emissão da outorga é calculada diferentemente da garantia na fase de apresentação do projeto básico. Nessa fase, o valor é calculado em 5% (cinco por cento) do investimento, equivalente a R\$ 4.000,00 (quatro mil reais)/kW instalado, tendo como referência a potência do projeto básico aprovado.. A garantia será liberada gradativamente ao longo do projeto com evento final associado ao início da operação em teste da 1ª unidade geradora. No caso da alteração do projeto básico ou descumprimento do cronograma apresentado, a garantia poderá ser executada. A outorga de autorização será emitida caso sejam cumpridos os requisitos estabelecidos na legislação.

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a finalidade de facilitar a percepção do processo de autorização, foram resumidas, na Figura 15 e 16, as atividades já abordadas nesta subseção. Também nela são apresentadas as interações das atividades do empreendedor com os órgãos do setor.

Figura 15 - Fluxograma de Implantação de uma PCH.



Fonte: (Makaron,2012).

Figura 16 - Fluxograma de Implantação de uma PCH.



Fonte: (Makaron,2012).

Todo o processo de autorização para a construção de uma PCH, mesmo considerando as simplificações regulatórias comparadas às grandes usinas, tem uma duração média de nove anos, desde a identificação do rio até o início da operação comercial. Sendo que metade do processo é estimado para a aprovação da ANEEL, que leva em média dois anos para aprovar o inventário e mais dois anos para aprovação do projeto básico. Esse ainda pode ser agravado pela demora na emissão das licenças ambientais e atrasos no cronograma das obras. A Figura 17 consta o cronograma:

Figura 17 - Cronograma da Identificação do Rio até Início da Operação.



Fonte: (Makaron,2012).

5 CONCLUSÃO

Mostraram-se, no decorrer do trabalho, as perspectivas atuais e futuras para as PCHs. Mais do que a potência elétrica que elas podem somar estas centrais têm um caráter multiplicador, pois interiorizam o desenvolvimento a partir de reduzidos investimentos, e atingindo grandes áreas. Este é o caso do Brasil, Peru e Vários outros países em desenvolvimento..

A construção de PCHs representa importante alternativa de produção de energia renovável, pois não produz tanto o impacto ambiental causado pela grande intervenção na natureza dos grandes reservatórios, possuindo, em sua maioria, quedas d'água de pequeno e médio portes, inclusive não interferindo no regime hidrológico do curso d'água. As PCHs podem servir para a complementação de sistemas de grande porte em função do menor risco de investimento. Além do importante fator ambiental, as PCHs possuem outras vantagens, como custo acessível, menor prazo de implementação e maturação do investimento, sendo que seu excedente de energia gerada pode ser colocado a disposição das concessionárias para aquisição dessa energia.

A preservação do meio ambiente no seu aspecto geral fauna, flora, poluição e tudo o que estiver diretamente relacionado, tem seus benefícios suportados no projeto que, se bem estruturado, não haverá retorno apenas financeiro, mas, levará o progresso para a região do empreendimento sem danificar ou interferir na natureza.

Todavia, diante da crescente demanda por energia elétrica, concluí-se que os incentivos às Pequenas Centrais Hidrelétricas, por serem consideradas uma forma de produção de energia com baixo impacto ambiental e energia “limpa” e renovável, criam atrativos para que sejam implantadas PCHs nas regiões que seriam consideradas críticas em relação à falta de energia.

As PCHs não produzem apenas energia, mas produz uma melhor qualidade de vida, maior oferta de emprego e avanço econômico sustentável.

O Brasil possui um alto grau de potencial hidráulico energético não explorado, o que faria das PCHs uma grande solução para o possível déficit energético nacional.

Referências

- ALMEIDA, José Heli de "Dissertação – Caracterização e Avaliação de Imprevistos Geológicos em Obras de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's)", UFOP, Ouro Preto 2006.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: www.aneel.gov.br. Último acesso em: 02/06/2016.
- Atlas de Energia Elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. Ed. - Brasília : ANEEL, 2008.
- BAUER, L., "Electrical energy from hydropower plants: global analysis", Symposium on project, design and installation of small hydro power plants, 1-10, UNIDO/Governo Austríaco, Áustria, 1981.
- CASTRO, Rui M.G, "Introdução à Energia Mini-Hídrica", Universidade Técnica de Lisboa, 2002.
- CARNEIRO, D. A. Pequenas centrais hidrelétricas. Editora Canalenergia, 2010.
- CPFL - Companhia Paulista de Força e Luz, Energia e Desenvolvimento, Campinas, Brasil, 1982.
- DIAS, Israel Oliveira "Trabalho de Conclusão de Curso – Procedimentos para Implantação de uma Pequena Central Hidrelétrica, do Estudo de Inventário à Outorga", UFRJ, Rio de Janeiro 2014.
- Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - ELETROBRÁS - Ministério de Minas e Energia, 2000.
- JINGXI, R., "Small hydro power and rural grids in China", Asia-Pacific Regional Centre on SHP, Hangzhou, China, 1984.
- KANNAN, V. P. K. P. Time and cost over-runs of the power projects in Kerala. Seminar at the Centre for Development Studies, Oct. 2001.
- MAKARON, Paula Matos "Dissertação – Análise de Viabilidade de Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas: Pontos Críticos de Sucesso a Partir de Estudos de Caso no Estado de Santa Catarina", USP, São Paulo 2012.
- MARTINEZ, C. B. Interações Entre o Planejamento e o Projeto de U.H.E 's, O caso das pequenas centrais hidrelétricas no Brasil. 1994. Tese (Doutorado). UNICAMP, 1994.
- MEDEIROS, Jarbas Mariz "Trabalho de Conclusão de Curso – Panorama Atual e Viabilidade de Instalação de Novas PCHS", UFCG, Campina Grande 2015.
- MOREIRA, A. R. G.; PINAUD, R. Z.; BARRETO, A. C.; FREITAS, M. A. V. de. Pequenas centrais hidrelétricas - alguns tipos de instalações, sistemas e componentes, 2006.
- NILTON, Cássio Luiz "Trabalho de Conclusão de Curso – Impacto das pequenas Centrais hidrelétricas – PCH no Meio Ambiente", UFLA, Lavras 2009.

Plano Nacional de Energia 2030 / Ministério de Minas e Energia ; colaboração Empresa de Pesquisa Energética, Brasília : MME : EPE, 2007.

SANTOS, A.H.;M. & NOGUEIRA, L.A.H., "Pequenas Centrais Hidrelétricas: sua capacitação na produção de alimentos e seu componente ecológico", Seminário internacional sobre energia, alimentos e ecossistemas,UnB, Brasília, setembro, 1984.

SANTOS, Afonso Henriques Moreira; NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta; BAJAY, Sérgio Valdir. Um Panorama Sobre a Situação das Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) no Mundo.

São Paulo Energia, "Entrevista com o Secretário Executivo da Organização Latino Americana de Energia (QLADE)", São Paulo Energia, Vol. II, nº 14, pag.13-16, São Paulo, 1985.

São Paulo Energia, "Poços de Caldas prova e aprova a solução local", São Paulo Energia - vol. I, nº 9, pag. 27/29, São Paulo, 1984.

TINSLEY, R. Advanced project financing. Ed. Euromoney Books, 2000. VENKATARAMAN, R. R.; PINTO, J. K. Cost and value management in projects. Ed. John Wiley & Sons, Inc., 2008.