



**UNIVERSIDADE SALVADOR (UNIFACS)
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E EXTENSÃO
MESTRADO EM REGULAÇÃO DA INDÚSTRIA DE ENERGIA**

ROBERTO LOBO MIRANDA

**REGULAÇÃO TÉCNICA PARA SE OBTER MELHOR
EFICIÊNCIA NA MOTORIZAÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS
HIDRELÉTRICAS NO BRASIL**

Salvador
2009

ROBERTO LOBO MIRANDA

**REGULAÇÃO TÉCNICA PARA SE OBTER MELHOR
EFICIÊNCIA NA MOTORIZAÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS
HIDRELÉTRICAS NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Regulação da Indústria de Energia, da Universidade Salvador (UNIFACS), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Regulação da Indústria de Energia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Olívia de Souza Ramos.

Salvador
2009

FICHA CATALOGRÁFICA

(Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da Universidade Salvador - UNIFACS)

Miranda, Roberto Lobo

Regulação técnica para se obter melhor eficiência na motorização de pequenas centrais hidrelétricas no Brasil/ Roberto Lobo Miranda. – Salvador, 2009.

118 f. il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Salvador – UNIFACS. Mestrado em Regulação da Indústria de Energia, 2009.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Maria Olívia de Souza Ramos.

1. Energia elétrica - produção. 2. Centrais hidrelétricas. 3. Turbinas hidráulicas. I. Ramos, Maria Olívia de Souza, orient. II. Título.

CDD: 621.042

ROBERTO LOBO MIRANDA

REGULAÇÃO TÉCNICA PARA SE OBTER MELHOR EFICIÊNCIA NA
MOTORIZAÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO BRASIL

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Regulação da Indústria de Energia, Universidade Salvador (UNIFACS), pela seguinte banca examinadora:

Maria Olívia de Souza Ramos – Orientadora _____
Doutora em Ciências Econômicas – Université de Paris XIII (Paris-Nord)
Universidade Salvador (UNIFACS)

André Luiz de Carvalho Valente _____
Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo (USP)
Universidade Salvador (UNIFACS)

Kleber Freire da Silva _____
Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo (USP)
Universidade Salvador (UNIFACS)

Fernando Augusto Moreira _____
Doutor em Engenharia Elétrica, University of British Columbia (UBC)
Universidade Federal da Bahia (UFBA)

15 de agosto de 2009.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, à minha esposa Rosa Maria, pelo carinho e muito incentivo recebido.

A minha mãe Elza (em memória), aos meus filhos, Flávio e Priscila, pela admiração e respeito demonstrados durante o curso e à minha neta Mel, todos uma lembrança permanente em minha vida.

Ao meu pai Alphenas e a Nancy, pessoas com um significado especial em minha vida.

À minha orientadora, prof^a. Maria Olívia de Souza Ramos, um agradecimento especial pela dedicação para a construção deste trabalho com qualidade.

Aos mestres, pelas orientações dadas e pelo conhecimento transmitido.

Aos meus amigos, com participação direta e indireta no curso do mestrado e no presente trabalho; Andréia Antloga, Cilícia Bispo, José Sérgio de Oliveira Andrade, Manoel Gonçalves, Michel Couston, Milena Cairolli e Ricardo Vasconcellos.

Aos colegas da VII turma do Mestrado em Regulação da Indústria de Energia (MREI) da Universidade Salvador (UNIFACS).

RESUMO

O propósito deste estudo é discutir um eventual aumento na produção de energia elétrica que é definida para as pequenas centrais hidrelétricas (PCH), tornando a escolha do tipo de turbina uma ferramenta para ampliar a oferta de energia de um mesmo aproveitamento hidrelétrico. O trabalho está voltado para as chamadas baixas quedas d'água e destaca essas usinas em um cenário cada vez maior de exploração de usinas do tipo fio d'água, em substituição àquelas de formação de grandes reservatórios. Sugere que os diversos tipos de turbinas construídas na concepção da família Kaplan recebam prioridade na análise de projetos de usinas e na aplicação de soluções e, para isso, apresenta-se sua eficiência e flexibilidade de operação em relação aos demais tipos existentes. A metodologia da pesquisa consistiu na seleção e avaliação de 17 projetos hidrelétricos, sendo todos enquadrados na gama de usinas de PCH. Com base nas informações disponíveis nas fichas técnicas resumos de projetos das respectivas usinas e no critério aceito de determinação da energia comercializável de PCH, além das vazões médias mensais, buscou-se identificar até que ponto seria possível uma maior exploração da energia da usina com um arranjo técnico de projeto mais audacioso, sustentado pela evolução técnica das turbinas da família Kaplan. Os resultados obtidos nas simulações indicam uma mudança na avaliação de projetos. Uma usina hidrelétrica, como bem público, precisa resguardar o máximo de aproveitamento energético, seja no momento da construção ou no futuro. Perdas de energia não podem ocorrer por fatores econômicos e financeiros contextualizados e justificados por épocas, perpetuando perdas ao longo da exploração econômica da usina hidrelétrica. Estudos complementares de custos de implantação de usinas e formas de contratação também são apresentados neste trabalho, com o propósito de subsidiar os ganhos de energia suplementar, mas também são valores contextualizados. Com o sentido único de fornecer um pouco de sensibilidade ao trabalho, apresenta-se uma análise da quantidade de residências que poderiam se beneficiar dos ganhos de energia obtidos, bem como outras formas de economia de energia, como a implantação do horário de verão. Como conclusões, são apresentados parâmetros que invocam questões suscetíveis para definições de projetos aos agentes da indústria de energia, para possibilitar melhorias nas performances de projetos e estimular avanços tecnológicos nas máquinas de geração hidráulica.

Palavras-chave: Geração hidrelétrica. Energia. Baixas quedas. Fio d'água. Turbinas hidráulicas. Turbinas Kaplan. Avanços tecnológicos. Eficiência energética.

ABSTRACT

This study's purpose is to discuss an eventual increase in the electrical energy production that is defined for small-scale hydroelectric power plants (SPP), so that the choosing of the type of turbine becomes a tool in terms of expanding the offer of energy from the same hydroelectric power source used. The present work is concerned with the so called low head waterfalls hydroelectric power plant type and highlights the role played by those plants in a scenario that prevails the exploration of the falling water hydroelectric power plant type in substitution of those that makes use of big reservoirs. It suggests that the variety of turbine types constructed according to the Kaplan family conception should receive priority during the plants' project analysis and during the solution application's process. For this reason, it is presented its efficiency and operational flexibility in relation to other existing arguments. As for the methodology, this research consisted of a selection and evaluation of 17 hydroelectric projects, being all of them fit in the SPP category. Based on the information found on technical records, on the respective hydroelectric projects' summaries and on the accepted criteria that deals with the amount of energy that can be commercialized by the SHP, besides the monthly average flow, it was tried to identify in to what extent it would be possible to have a greater electrical energy exploration from the hydroelectric power plant that has a daring technical arrangement, sustained by the Kaplan family turbines technical evolution. The obtained results indicated that a change in the projects' evaluation. A hydroelectric power plant, considered as a public good, must maximize as much as possible the hydroelectric power source in use, being it at the moment of the construction or in the future. Energy losses can not occur given to long term justified economic or financial contexts permitting losses along the hydroelectric power plant economic exploration. This work also presents complementary studies related to hydroelectric power plant implantation costs as well as contract forms, as a way of subsidizing supplementary energy gains, but those are also contextualized values. In terms of giving more sensibility to this work, its was presented an analysis of the quantity of residences that could be beneficiated by the obtained energy gains, such as: the summer time implantation. As for the results, it were presented parameters that provoke questions that are susceptible for project's definitions concerning the energy industry agents, making it possible the project's performance improvement and the stimulation of technological advances to hydraulic generation machineries.

Key-words: Hydroelectric power generation. Energy. Low head fall. Falling water hydroelectric power plant. Hydraulic turbines. Kaplan turbines. Technological advances. Energy efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Gráfico da curva de permanência de vazões da PCH N (nome atribuído pelo autor)	18
Figura 2 -	Desenho artístico em corte de uma usina hidrelétrica	23
Figura 3 -	Esquema de usina hidrelétrica convencional	24
Figura 4 -	Esquema de apresentação do processo de geração de energia	26
Figura 5 -	Desenho artístico de turbina Pelton	27
Figura 6 -	Desenho artístico de turbina Francis	28
Figura 7 -	Desenho artístico de turbina Kaplan	29
Figura 8 -	Gráfico dos rendimentos de alguns tipos de turbinas com variação de vazões e queda constante	39
Figura 9 -	Gráfico das faixas de aplicação de turbinas Pelton, Kaplan e Francis	40
Figura 10 -	Gráfico da curva de eficiência das turbinas Kaplan da PCH Canoa Quebrada	41
Figura 11 -	Gráfico da curva de permanência de vazões PCH F	46
Figura 12 -	Desenho técnico ilustrativo dos níveis de montante e jusante	47
Figura 13 -	Gráfico da curva de vazão da PCH B	53
Figura 14 -	Esquema de compra de equipamentos mecânicos e elétricos na forma de pacote	61
Figura 15 -	Esquema de compra de obras e equipamentos na forma de EPC	62
Figura 16 -	Composição percentual do custo de PCH – Famílias Francis & Pelton (média e alta queda)	63
Figura 17 -	Composição percentual do custo de PCH – Família Kaplan (baixa queda)	63
Figura 18 -	Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH A	78
Figura 19 -	Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH B	80
		82

Figura 20 -	Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH C	
Figura 21 -	Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH D	84
Figura 22 -	Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH E	86
Figura 23 -	Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH F	88
Figura 24 -	Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH G	90
Figura 25 -	Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH H	92
Figura 26 -	Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH I	94
Figura 27 -	Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH J	96
Figura 28 -	Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH K	98
Figura 29 -	Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH L	100
Figura 30 -	Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH M	102
Figura 31 -	Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH N	104
Figura 32 -	Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH O	106
Figura 33 -	Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH P	108
Figura 34 -	Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH Q	110

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Resumo das características das usinas Pelton, Francis e Kaplan	29
Quadro 2 -	Resumo técnico da PCH B	51
Quadro 3 -	Resumo técnico da PCH A	77
Quadro 4 -	Resumo técnico da PCH B	79
Quadro 5 -	Resumo técnico da PCH C	81
Quadro 6 -	Resumo técnico da PCH D	83
Quadro 7 -	Resumo técnico da PCH E	85
Quadro 8 -	Resumo técnico da PCH F	87
Quadro 9 -	Resumo técnico da PCH G	89
Quadro 10 -	Resumo técnico da PCH H	91
Quadro 11 -	Resumo técnico da PCH I	93
Quadro 12 -	Resumo técnico da PCH J	95
Quadro 13 -	Resumo técnico da PCH K	97
Quadro 14 -	Resumo técnico da PCH L	99
Quadro 15 -	Resumo técnico da PCH M	101
Quadro 16 -	Resumo técnico da PCH N	103
Quadro 17 -	Resumo técnico da PCH O	105
Quadro 18 -	Resumo técnico da PCH P	107
Quadro 19 -	Resumo técnico da PCH Q	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Relação de projetos de PCH selecionados para pesquisa	42
Tabela 2 -	Curva de permanência de vazões PCH UU	45
Tabela 3 -	Excedente de água não turbinada na solução técnica original do projeto	52
Tabela 4 -	Energia adicional e potência equivalente apuradas com excedente de vazão não turbinada na solução original do projeto	54
Tabela 5 -	Energia adicional (em kwh) de cada PCH com a vazão excedente não turbinada na solução técnica original	55
Tabela 6 -	Potência equivalente (em kw) à energia adicional de cada PCH apurada com a vazão excedente e não turbinada na solução técnica original do projeto	56
Tabela 7 -	Quantidade de residências atendidas com a energia adicional apurada com a vazão excedente não turbinada da solução técnica original dos projetos	57
Tabela 8 -	Custo e receita adicionais por PCH para adequação da usina à nova potência nominal	66
Tabela 9 -	Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH A	77
Tabela 10 -	Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH B	79
Tabela 11 -	Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH C	81

Tabela 12 -	Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH D	83
Tabela 13 -	Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH E	85
Tabela 14 -	Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH F	87
Tabela 15 -	Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH G	89
Tabela 16 -	Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH H	91
Tabela 17 -	Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH I	93
Tabela 18 -	Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH J	95
Tabela 19 -	Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH K	97
Tabela 20 -	Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH L	99
Tabela 21 -	Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH M	101
Tabela 22 -	Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH N	103
Tabela 23 -	Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH O	105
Tabela 24 -	Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH P	107
Tabela 25 -	Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH Q	109
Tabela 26 -	Vazões médias mensais, 1931-2002, Brasil	111

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APMPE	Associação Brasileira dos Pequenos e Médios Produtores de Energia Elétrica
CERPCH	Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas
CGH's	Centrais geradoras de hidroeletricidade
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
EIA	Estudo de impacto ambiental
EPC	<i>Engineering, procurement & construction</i>
EPE	Empresa de Estudos Energéticos
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
PCH	(a) Pequena central hidrelétrica
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S/A
Q	Vazão turbinada
Q _{máx}	Vazão turbinada máxima
RIMA	Relatório de impacto ambiental
TIR	Taxa interna de retorno
UHE	Grandes centrais hidrelétricas
VMM	Vazão média mensal

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	17
1.2 OBJETIVO	19
1.3 METODOLOGIA	19
1.4 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO	20
CAPÍTULO 2 – ALGUMAS NOTAS SOBRE A GERAÇÃO HIDRELÉTRICA	22
2.1 UNISAS HIDRELÉTRICAS	22
2.2 CARACTERIZAÇÃO DE UNISAS HIDRELÉTRICAS	24
2.3 TECNOLOGIAS MAIS APLICADAS À GERAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS	25
2.4 O APERFEIÇOAMENTO DA TURBINA HIDRÁULICA A PARTIR DOS ANOS 70	30
2.5 PARÂMETROS DE DECISÃO DA POTÊNCIA DA USINA HIDRELÉTRICA	31
2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
CAPÍTULO 3 – BAIXAS QUEDAS D'ÁGUA E SELEÇÃO DE PROJETOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS PARA ANÁLISE NESTE TRABALHO	33
3.1 DEFINIÇÕES DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS SEGUNDO A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA	34
3.2 UNISAS A FIO D'ÁGUA	35
3.3 SEGMENTAÇÃO DO TRABALHO PARA BAIXAS QUEDAS	36
3.4 TECNOLOGIA DE GERAÇÃO RECOMENDÁVEL À BAIXA QUEDA	37
3.5 ANÁLISE COMPARATIVA DE PERFORMANCES DE MÁQUINAS DE GERAÇÃO HIDRÁULICA	38
3.6 EFICIÊNCIA DAS TURBINAS DA FAMÍLIA KAPLAN	40
3.7 SELEÇÃO DE PROJETOS DE USINAS PARA AVALIAÇÃO COM APLICAÇÃO DE TURBINAS DA FAMÍLIA KAPLAN	42
CAPÍTULO 4 – ANÁLISE DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS DEZESSETE PROJETOS SELECIONADOS PARA ESTUDO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA	44
4.1 PROJETO BÁSICO DE UMA PCH	44
4.2 TURBINAS HIDRÁULICAS E RENDIMENTOS ADOTADOS	49
	51
CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DE UM CASO E RESULTADO GERAL DAS AVALIAÇÕES DOS PROJETOS ESTUDADOS	
5.1 AVALIAÇÃO DE UM ÚNICO CASO	51
5.1.1 Representação gráfica	53
5.2 RESULTADO GERAL DAS AVALIAÇÕES DOS PROJETOS	54
5.2.1 Energia adicional e potência equivalente	55
5.2.2 Estimativa de residências eventualmente beneficiadas com a energia excedente obtida nas PCH analisadas	57

CAPÍTULO 6 – INVESTIMENTOS NECESSÁRIOS À ADEQUAÇÃO DAS PCH À NOVA POTÊNCIA SUGERIDA PELOS ESTUDOS DE GANHO DE ENERGIA	
6.1 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E DE CONSTRUÇÃO	59
6.2 COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO	62
6.3 CUSTO MÉDIO DE IMPLANTAÇÃO DE PCH	64
6.4 CUSTOS ADICIONAIS	65
CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
REFERÊNCIAS	73
APÊNDICE A – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH A	77
APÊNDICE B – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH B	79
APÊNDICE C – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH C	81
APÊNDICE D – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH D	83
APÊNDICE E – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH E	85
APÊNDICE F – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH F	87
APÊNDICE G – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH G	89
APÊNDICE H – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH H	91
APÊNDICE I – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH I	93
APÊNDICE J – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH J	95
APÊNDICE K – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH K	97
APÊNDICE L – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH L	99

APÊNDICE M – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH M	101
APÊNDICE N – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH N	103
APÊNDICE O – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH O	105
APÊNDICE P – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH P	107
APÊNDICE Q – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH Q	109
ANEXO A – Vazões médias mensais	111
ANEXO B – Ficha-resumo para estudos de viabilidade e projeto básico	114

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica no Brasil deverá mais do que duplicar até o ano de 2030, avalia o Ministério de Minas e Energia (MME, 2007), o que significa um forte crescimento em termos absolutos.

Nesse sentido, questiona-se o que fazer para sustentar este crescimento. Ainda faltam 20 anos para se chegar ao ano de 2030, o que não é muito, quando se pensa em infra-estrutura. Assim, não basta gerar energia de qualquer fonte para resolver a questão, pois será preciso escolher as fontes de geração de energia renovável que dêem sustentabilidade ao país. Ora, para 2030, esta matriz de eletricidade ainda estará apoiada na geração hidráulica com, aproximadamente, 65%. É a partir desse ponto que esta dissertação busca discutir os critérios de determinação da geração de energia de uma usina hidrelétrica.

Sabe-se que o potencial a construir de usinas hidrelétricas no Brasil ainda é grande como, também, que este potencial estará localizado mais longe dos centros de consumo. Além disso, estarão inseridos em regiões do Brasil onde as mitigações de impactos ambientais são mais complexas. Tudo isso será traduzido em maiores dificuldades e em maiores custos de implantação.

As tecnologias disponíveis para a geração de hidroeletricidade datam de mais de 100 anos. Ainda assim, são dinâmicas e encontram espaços para evoluções técnicas que chegam a níveis de eficiência acima de 95%. No entanto, observa-se que esse esforço tecnológico nem sempre é suficientemente aproveitado dentro dos seus limites.

O que esta dissertação apresenta, e também questiona, são os limites de aproveitamento energético que se podem extrair de uma usina hidrelétrica com aplicação de turbinas hidráulicas capazes de buscar uma maior utilização da água disponível sem, no entanto, influenciar no arranjo da usina, de forma a encarecer o projeto.

A complexidade técnica, o impacto ambiental e o custo do investimento que uma usina hidrelétrica exige, inseridos em um contexto mundial de instabilidade nos preços de energia, não permitem mais, ao Brasil, modos convencionais de

determinação de energia firme de uma usina, sendo preciso alcançar o limite de exploração energética.

Quando se dispensa a geração de um kilowatt (kW) a mais numa usina hidrelétrica por viabilidade econômica insuficiente, muitas vezes, os parâmetros financeiros de análise estão contextualizados em um cenário e imediatamente obsoletos em um cenário seguinte. Além disso, este 1kW hidrelétrico que deixa de ser retirado de uma nova usina poderá contribuir para eliminar a geração de 1kW de combustível fóssil não renovável.

Esta dissertação buscará mostrar que o conceito de projetos hidrelétricos precisa ser reavaliado e incentivado para melhor explorar a energia extraída. Para buscar essas respostas, foram selecionados 17 projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) que tiveram alteradas suas concepções originais de quantidade e/ou tipo de turbina, de forma que as vazões médias mensais históricas fossem exploradas em seu limite. A partir dos resultados obtidos se pretende questionar um assunto que aparentemente mostra-se esgotado em sua discussão.

1.1 JUSTIFICATIVA

Considerando-se que, conforme o art. 2º da Resolução n. 1, de 17 de novembro de 2004, do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE, 2004), “[...] o risco de insuficiência da oferta de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional não poderá exceder a 5% (cinco por cento) [...]”, as usinas hidrelétricas têm sua energia assegurada no sistema com a aplicação desse critério, ou seja, a vazão de água capaz de gerar energia é aquela cuja média é garantida a 95% do tempo. A curva de permanência apresentada na Figura 1 abaixo exemplifica um caso.

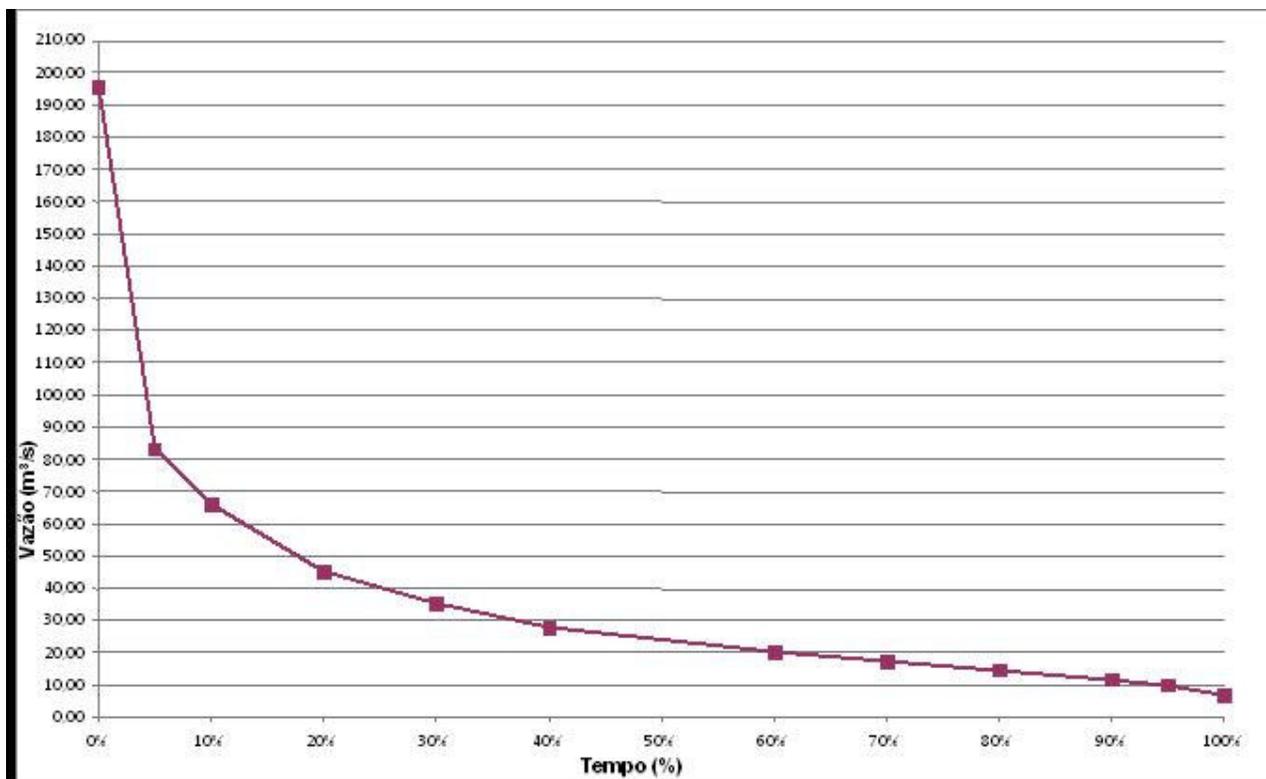


Figura 1 – Gráfico da curva de permanência de vazões da PCH N

Nota: Título atribuído pelo autor.

Fonte: Ficha-resumo do projeto da PCH N.

A leitura da Figura 1 acima informa que, em 95% do tempo, o rio é capaz de garantir uma vazão de $10\text{m}^3/\text{s}$ e esta vazão determina a energia firme da usina hidrelétrica; $40\text{m}^3/\text{s}$ é a vazão de água selecionada no projeto para definir a potência nominal da usina hidrelétrica, correspondente a 25% do tempo, ou seja, a vazão de $40\text{m}^3/\text{s}$ existirá durante 25% do tempo durante o ano; toda a vazão de água, acima de $40\text{m}^3/\text{s}$, não é aproveitada para fins de geração de energia.

O critério para definir a vazão aplicada na definição de potência nominal da usina hidrelétrica é econômico, ou seja, são elaboradas simulações comparando as faixas de potenciais nominais, em megawatt (MW), com a respectiva energia produzida, em megawatt hora (MWh). Esta comparação mostra o nível de investimento necessário à usina na dimensão da potência nominal, com a receita advinda da energia vendida.

Este critério tem sua consistência de forma conjuntural, ou seja, considera preços de energia válidos naquele momento da avaliação do projeto. Se for considerado que os preços de MWh apresentam uma escala crescente ao longo dos anos, muitos projetos hidrelétricos deixam de oferecer um maior volume de energia.

Outro fator observado nos projetos é ausência de consideração às evoluções tecnológicas que os equipamentos de geração vêm ganhando ao longo dos anos.

Assim, várias questões podem ser levantadas sobre o procedimento:

a) construir usinas hidrelétricas, sem considerar a aplicação de turbinas adequadas, pode impor uma perda ao projeto e, conseqüentemente, à sociedade, que é a proprietária deste bem público?

b) avaliar usinas hidrelétricas por parâmetros econômicos conjunturais pode gerar sub-avaliações energéticas?

c) a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) deveria alterar os critérios de avaliação de projetos básicos de usinas hidrelétricas, considerando o tipo de equipamento de geração adequado?

1.2 OBJETIVO

O objetivo principal desta dissertação é verificar a possibilidade da existência de outro arranjo, mudando as condições iniciais do projeto da usina e, conseqüentemente, oferecendo ganhos de energia suplementar em usinas hidrelétricas e, por meio desses novos arranjos, passar a introduzir, nos critérios de aprovação de projetos pela Aneel, um maior rigor com relação a quantidade de energia produzida pela usina hidrelétrica. O autor acredita que a introdução desta questão nos procedimentos de análise do agente regulador, no caso a Aneel, poderá elevar a qualidade e o potencial das usinas hidrelétricas.

1.3 METODOLOGIA

Por critérios técnicos, pelos quais é possível aplicar turbinas do tipo Kaplan e pela apuração de dados disponíveis, foram selecionados 17 projetos de usinas hidrelétricas classificadas como PCH. Estes projetos apresentam situações diferentes, ou seja, uma parte está pronta em operação, uma parte está em

construção e outra parte com projetos prontos.

De cada projeto, foi extraída a Ficha Técnica Resumo que estava disponível, até o ano de 2004, no sítio eletrônico <http://www.aneel.gov.br>. Como as fichas técnicas já não estão mais disponíveis, os projetos serão nomeados por referências aleatórias, uma vez que o objetivo principal é avaliar a geração de energia.

Com base no histórico de vazão do respectivo projeto, será demonstrado o nível de aproveitamento energético definido no projeto básico, tomando por base a escolha do empreendedor por máquinas de geração aplicadas e autorizados pelos critérios adotados pela Aneel.

Será verificada, em cada projeto, a existência ou não de energia suplementar, unicamente com a aplicação de máquinas de geração mais adequadas, sem qualquer alteração da concepção e implantação da usina hidrelétrica.

A partir do projeto existente, serão simuladas alterações das máquinas de geração para buscar novos parâmetros de geração de energia do projeto, ou seja, o questionamento se dará do fim para o início do projeto.

As simulações de cálculo para apuração da energia excedente nos 17 projetos de PCH pesquisados serão elaboradas com aplicação de turbinas hidráulicas do tipo Kaplan, com potência e quantidades redefinidas em relação à concepção original de cada projeto. A metodologia empregada consiste na escolha do menor número de turbinas e no maior aproveitamento da água disponível, sendo definida na curva de vazão do projeto.

Será realizada uma avaliação do benefício, se houver, da energia suplementar obtida. Também será examinada a eventual existência de custo suplementar para ajustar a usina hidrelétrica ao novo patamar de energia gerada.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO

O trabalho está organizado em sete capítulos. No primeiro, são apresentados a introdução, os objetivos e os aspectos que justificam a realização do estudo.

O segundo capítulo contém os fundamentos da geração hidrelétrica, com uma exposição de suas características, as tecnologias mais aplicadas à geração de

energia hidráulica, a evolução das turbinas hidráulicas e os parâmetros que influenciam na escolha das máquinas.

O terceiro capítulo caracteriza as PCH e as usinas que operam no chamado sistema fio d'água. Esta etapa conduz o estudo para o segmento das baixas quedas, com a indicação da tecnologia mais recomendável sob o ponto de vista técnico. Também mostra o comportamento dos tipos de turbinas hidráulicas para as diferentes quedas d'água, classificando-as em alta, média e baixa quedas, além de apresentar a flexibilidade operacional da turbina do tipo Kaplan, traduzindo sua alta eficiência ainda que sob condições de variações de quedas d'águas e de vazões de água, expondo os critérios técnicos que levaram à seleção dos projetos para estudos neste trabalho.

O quarto capítulo realiza uma exposição dos fundamentos técnicos que influenciam e determinam o potencial de geração de uma usina hidrelétrica. São apresentadas uma curva de vazão, a definição das quedas d'água de um projeto e explicado o conceito de níveis de água de montante e de jusante de uma usina hidrelétrica. São iniciados os estudos, indicando as vazões que não são utilizadas para fins de aproveitamento de energia, além de serem definidos os rendimentos dos equipamentos e apurada a energia excedente que cada projeto deixa de produzir, na concepção originalmente definida. A seção é encerrada com a apuração da potência adicional que sustentará, tecnicamente, a energia adicional.

O quinto capítulo detalha os passos de um único projeto dos 17 analisados. Em um passo a passo, explicam-se como a análise foi realizada e os resultados obtidos. Como aplicação real, é fornecido o benefício que as energias adicionais ganhas nos estudos poderia traduzir em números de residências atendidas.

O sexto capítulo inclui, no trabalho, o conceito de custos de investimentos. Por meio do custo médio de implantação de PCH, é demonstrada a itemização de custos de equipamentos e obras e, com esses dados, são projetados os investimentos necessários para sustentar os ganhos de energia excedente apurados neste trabalho. Ainda são apresentadas as formas de contratação que são aplicáveis às construções de usinas hidrelétricas. Por fim, na sétima seção, são apresentadas as considerações finais desta pesquisa.

CAPÍTULO 2 – ALGUMAS NOTAS SOBRE A GERAÇÃO HIDRELÉTRICA

Esta dissertação e a metodologia da aplicação de turbinas será melhor compreendida se acompanhada de uma exposição do princípio de geração de energia elétrica a partir de usinas hidrelétricas. Assim, neste capítulo, serão apresentados, em síntese, a história e o significado das usinas hidrelétricas como forma de geração de energia. Serão observados a concepção básica de uma usina, a situação de exploração desta fonte no Brasil, os critérios que diferenciam grandes e pequenas usinas hidrelétricas e sua condição de fonte renovável, além de ser discutido o estado da arte de máquinas de geração de forma histórica e atual.

2.1 USINAS HIDRELÉTRICAS

A força da água foi percebida pelo homem desde as antigas civilizações. Há registro de esquemas elaborados cerca dos anos de 2500 a.C. Muitas aplicações foram desenvolvidas na busca de melhoria da qualidade de vida das civilizações, mas, somente em 1751, Euler desenvolveu a “equação turbina”, como nomeado por ele, em que descreve a correlação entre o fluxo de água e a performance da turbina, que ainda hoje é a base técnica da tecnologia. Esta teoria só foi possível ser desenvolvida graças ao físico Johan Andréas von Seguer que, em meados do século XVIII, construiu a primeira máquina de alta pressão.

A energia oriunda da força da água, ou seja, hidráulica, se apóia em dois fatores básicos: a altura da queda da água e o volume de água disponível, como pode ser observado abaixo (1):

$$\text{Energia} \sim \text{queda} \times \text{volume} \quad (1)$$

Com esta forma simples de mostrar a produção de energia, também é possível iniciar o complexo processo de aproveitamento da energia disponível. Primeiro, pode-se questionar se apenas houver a dependência de volume, como fazer para ter um volume de água que permita uma produção constante e/ou, pelo menos, regularizada. Esta questão é fácil de supor, uma vez que se sabe que há

uma estação em que há chuvas e outra em que há seca.

Em um segundo momento, pode-se indagar que, como a queda é fator imperativo na produção de energia, como se pode interferir para produzir quedas maiores de água.

Com essas duas questões básicas, foram construídos os reservatórios de água para fins energéticos, dando origem às centrais hidrelétricas, conforme o desenho apresentado na Figura 2.

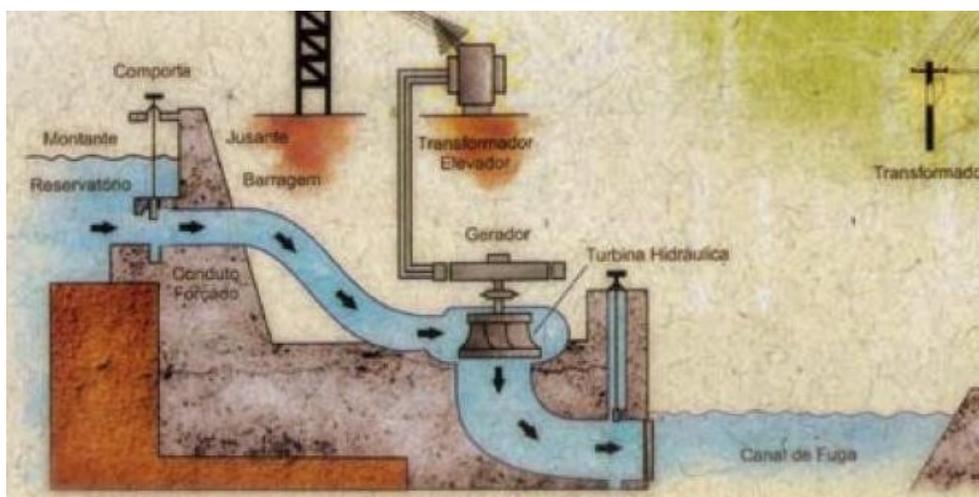


Figura 2 – Desenho artístico em corte de uma usina hidrelétrica
Fonte: Ersá Energias Renováveis (2008).

A concepção básica de uma usina hidrelétrica é uma barragem de concentração de armazenamento de água, um conduto para condução da água até a casa de máquinas, onde estão as turbinas/geradores. A energia disponível na água, em razão da altura da queda e do volume, se convertida em energia mecânica por meio da turbina que, através do eixo, transmite a energia mecânica ao gerador elétrico que, por sua vez, converte esta energia mecânica em energia elétrica. A Figura 3 abaixo ilustra o tema.

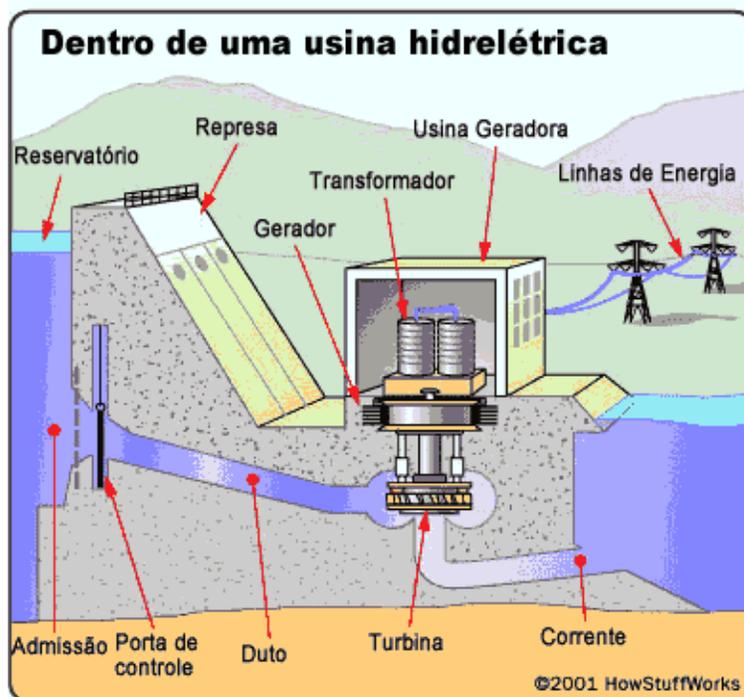


Figura 3 – Esquema de usina hidrelétrica convencional
Fonte: Bonsor ([2007 ou 2008]).

As usinas hidrelétricas podem ser de “regularização”, quando suas barragens são concebidas para armazenar água para cobrir a geração de energia durante o período de seca. Estas barragens são dimensionadas com grandes reservatórios.

Outras são chamadas de “usinas a fio d’água”, ou seja, não possuem reservatórios e devem produzir energia a partir do fluxo da água que chega à barragem. Esta, por sua vez, existe com a finalidade técnica de produzir a queda necessária para a operação da usina. Também é aplicável um misto de usina a fio d’água com reservatório. Neste caso, o reservatório opera como uma reserva energética durante o período de seca do rio.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS

Ao longo da história, as usinas hidrelétricas ganharam uma crescente importância na matriz de geração elétrica, o que gerou a motivação econômica para que fabricantes de equipamentos investissem na busca por tecnologias para atender

aproveitamentos hidrelétricos de maior porte, como é o caso da usina de Itaipu, na divisa do Paraguai com o Brasil, que gera cerca de 14.800 MW (20 unidades geradoras de 740 MW cada) e, mais recentemente, a construção da usina de Três Gargantas na China, com capacidade de geração de 22.720 MW (32 unidades geradoras de 710 MW cada). Embora estas usinas tenham representado grandes desafios tecnológicos na época da sua construção, as PCH ainda se apresentam como uma forma eficiente de geração de energia elétrica em menor escala, mas com a flexibilidade de expandir a geração próxima a centros de consumo.

No Brasil, por meio da edição da Lei n. 9.648, de 27 de maio de 1998, fica caracterizada a divisão entre pequenas centrais e grandes centrais hidrelétricas, sendo que, entre 1.000 kW e 30.000 kW de potência instalada, considera-se como PCH (BRASIL, 1998).

2.3 TECNOLOGIAS MAIS APLICADAS À GERAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS

As usinas hidrelétricas são construídas harmonizando construção civil, equipamentos mecânicos e equipamentos elétricos. Em síntese, pode-se resumir em:

a) barragem – consiste na contenção da água, por meio de concreto ou terra para represamento do volume especificado em projeto. Neste barramento, haverá uma local onde a água será conduzida para a casa de máquinas, chamada de tomada d'água.

b) casa de força – obra de construção civil em que se localizam as unidades geradoras da usina. Nesta unidade, encontram-se as turbinas mecânicas, os geradores elétricos e todos os equipamentos elétricos e auxiliares de operação da usina, e;

c) subestação – local onde se localizam o transformador elétrico de energia e os equipamentos de conexão e de segurança, protegendo a usina de eventuais problemas técnicos que possam ocorrer na linha de transmissão. Em síntese:

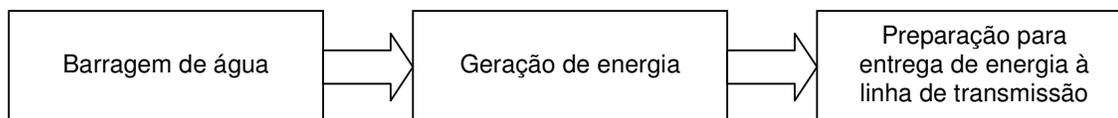


Figura 4 – Esquema de apresentação do processo de geração de energia

Nota: elaboração própria.

Apesar de haver equipamentos elétricos, auxiliares, transformadores e etc. que demandam elevados graus de desenvolvimento técnicos e, portanto, são indispensáveis à operação e à qualidade da usina hidrelétrica, cabe às turbinas hidráulicas o papel de peça chave na determinação da concepção técnica de uma usina hidrelétrica. Os principais tipos de turbinas hidráulicas se classificam em Pelton, Francis e Kaplan.

Küuffner (2006) comenta que a turbina tipo Pelton foi inventada por Lester Allan Pelton (1829-1908). Com características de arranjo que, em muito, faz recordar as antigas – e também atuais –, rodas d'água. A turbina Pelton foi patenteada em 1880 e a primeira unidade em operação foi instalada na cidade de Nevada, Estados Unidos. Tecnicamente, é uma turbina de ação, ou seja, a água é direcionada a sua roda, produzindo sua rotação num ambiente aberto. Sua aplicação é recomendada em situações de projeto em que há altas quedas de água. A variação de potência é regulada pelo controle de entrada de água através de bicos injetores que se posicionam diretamente em frente a roda da turbina. Esta tem a concepção de monobloco e não oferece flexibilidade operacional própria.

Este tipo de turbina tem pouca participação no parque gerador brasileiro, o que se deve às características geográficas do Brasil, onde se registram poucas áreas altas e muito volume de água.

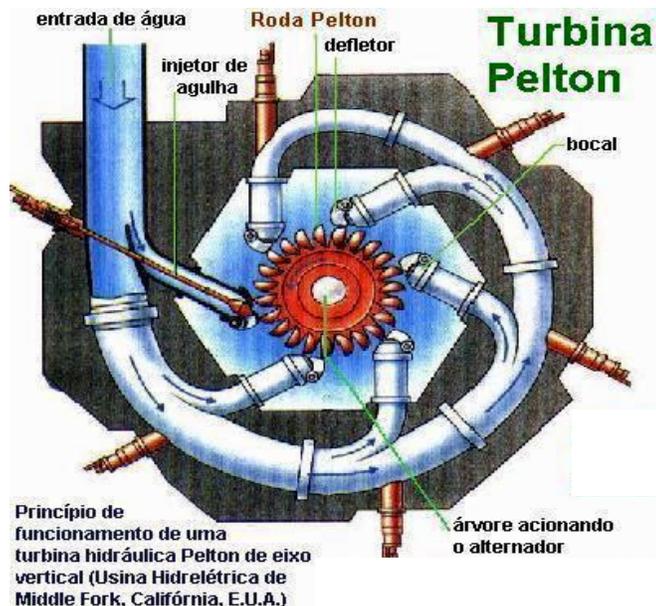


Figura 5 – Desenho artístico de turbina Pelton
Fonte: Marques ([1999]).

A turbina tipo Francis foi inventada em 1849 pelo americano James Bicheno Francis (1815-1892). Trata-se de uma tecnologia revolucionária no conceito de geração hidráulica e, por isso, ainda hoje é aplicada de forma ampla e equipa as maiores usinas hidrelétricas do mundo, como Três Gargantas e Itaipu.

Esta foi a primeira turbina de reação, ou seja, o fluxo d'água chega à roda da turbina fora das condições atmosféricas e recebe de um componente, chamado tubo de sucção, uma contra-pressão que maximiza o aproveitamento energético do fluxo de água.

A turbina tipo Francis deve ser aplicada para um volume de água determinado. Embora possua componentes de controle de passagem de vazão de água, este tipo de turbina tem uma acentuada perda de performance quando há variações de vazão. Outra característica técnica deste tipo de turbina é a falta de flexibilidade a variações de quedas, ou seja, a queda d'água deve obedecer a variações pequenas, pois não há qualquer mecanismo na turbina que possibilite seu ajuste a variações de quedas.

Ainda assim, são turbinas que apresentam uma significativa gama de aplicação para grandes e pequenas vazões de água, podendo ser especificadas para até 600 metros de queda d'água, mas não são recomendáveis para quedas muito baixas.

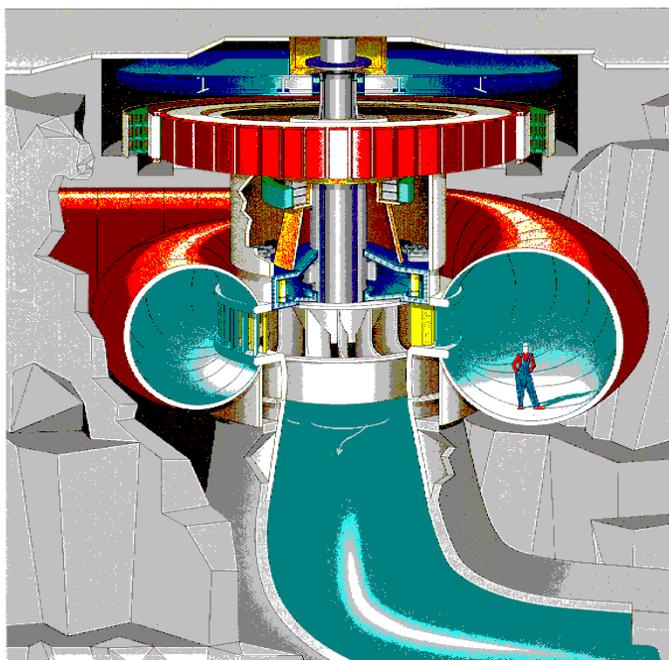


Figura 6 – Desenho artístico de turbina Francis
Fonte: Alstom Brasil (2008).

A turbina tipo Kaplan foi inventada em 1912, por Viktor Grotav Franz Kaplan, um engenheiro austríaco. Alguns experimentos foram realizados com sucesso, mas a consolidação desta tecnologia veio a ocorrer em 1925, com a instalação de uma turbina de oito MW na UHE Lilla Edet, na Suécia. Esta usina é considerada como o marco definitivo de qualificação da turbina tipo Kaplan como a solução técnica ideal para usinas hidrelétricas com baixas quedas e altas vazões de água.

A turbina Kaplan é responsável pela grande evolução na técnica de construção e aproveitamento de geração hidráulica, especialmente por apresentar excelente eficiência para aplicação em baixa queda e, em especial, variação da vazão turbinada, o que a difere tecnicamente das demais turbinas e, particularmente, em relação às turbinas tipo Francis.

O grande diferencial técnico percebido por Viktor Kaplan foi fornecer à turbina a capacidade de se regular por meio da movimentação das pás das rodas da turbina, gerando um equipamento com uma significativa flexibilidade operacional obtida nas variações de vazões e de quedas.

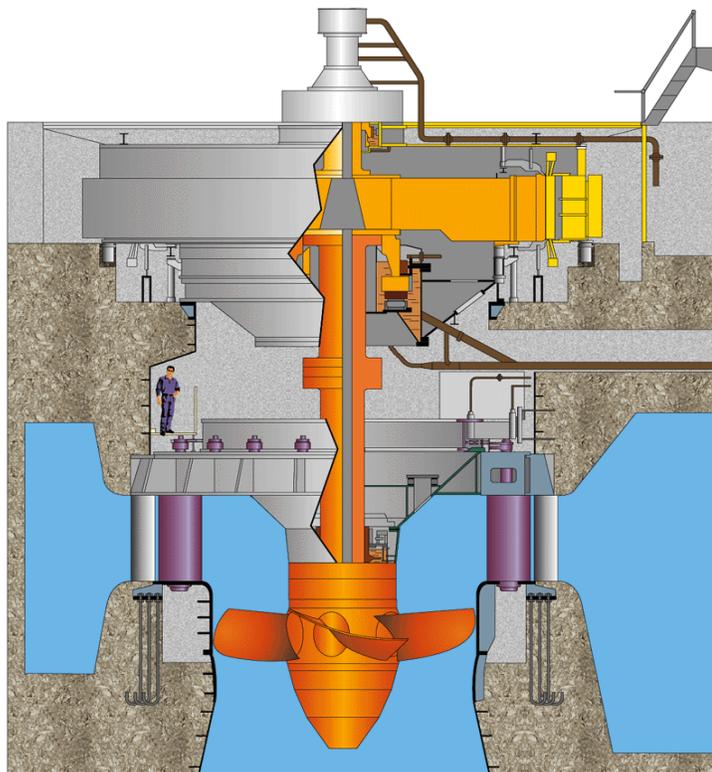


Figura 7 – Desenho artístico de turbina Kaplan
Fonte: Alstom Brasil (2008).

No Quadro 1 a seguir, estão resumidas as principais características dos tipos de turbinas anteriormente definidas:

Tipo	Queda d'água	Vazão de água	Performance
Pelton	Alta	Baixa	Aproximadamente 90%
Francis	Alta e média	Alta e média	Até 96%
Kaplan	Média e baixa	Alta e média	Até 95%

Quadro 1 – Resumo das características das usinas Pelton, Francis e Kaplan
Nota: elaboração própria.

2.4 O APERFEIÇOAMENTO DA TURBINA HIDRÁULICA A PARTIR DOS ANOS 70

As turbinas hidráulicas evoluíram substancialmente com os desafios de construção de usinas de maior porte. A informática permitiu a criação de softwares que simulam comportamentos hidráulicos do fluxo de água, os quais orientam técnicos para a solução de eventuais problemas. Outros softwares mostram esforços críticos nos equipamentos em operação, que reduzem falhas na especificação de materiais. A metalurgia foi capaz de propor novos materiais que garantem, ao projeto mecânico das turbinas, conceber máquinas menores sem afetar sua resistência. Sensores eletrônicos, colocados nas turbinas, permitem uma avaliação instantânea de seu comportamento.

Evoluções técnicas também foram acrescentadas a todos os demais equipamentos que compõem uma usina, permitindo uma melhor eficiência na construção e na operação das usinas.

As empresas dotadas de laboratórios hidráulicos¹ realizam investigações técnicas que se traduzem em avanços nas aplicações de turbinas hidráulicas. O mercado não tem capturado com perfeição esse benefício, e muitos projetos construídos, ou a construir, recebem soluções técnicas que poderiam ser otimizadas e oferecer, em muitos casos, melhores resultados na produção de energia.

A seleção do tipo de turbina é, normalmente, definida por empresas de engenharia ou consultores técnicos que, muitas vezes, seguem indicações clássicas sem a devida atualização técnica ou avaliam os projetos com critérios exclusivamente econômicos e financeiros. Frequentemente, os fabricantes tomam conhecimento do projeto da usina quando as máquinas já estão definidas. Evoluções tecnológicas, neste caso, podem ser agregadas com maior esforço e custo, uma vez que implicará em revisões de um projeto já pronto.

¹ Fabricantes que investem em tecnologia hídrica e que são mais conhecidos no Brasil são a Alstom Hydro, a Andritz Hydro, a Voith Siemens Hydro e a Impsa. Há outras no exterior, mas com pouca atuação no Brasil.

2.5 PARÂMETROS DE DECISÃO DA POTÊNCIA DA USINA HIDRELÉTRICA

A escolha da tecnologia aplicada e a qualidade técnica do projeto e de fabricação são fatores determinantes na durabilidade e na capacidade de geração de energia da usina².

As decisões no mercado de geração de energia são tomadas por parâmetros financeiros, definindo o potencial energético das usinas³. Condições financeiras são importantes, mas sempre estarão inseridas num contexto econômico desconexo com a vida útil de uma usina hidrelétrica, estimada em 50 anos.

A construção efetiva de uma usina hidrelétrica segue um cuidadoso processo de engenharia financeira, no qual se considera a Taxa Interna de Retorno (TIR) de capital do projeto. A venda da energia garantida a médio (dez anos) e longo prazo (acima de dez anos) fornece, ao projeto, a necessária sustentação para atrair o interesse de investidores.

Entretanto, uma política inadequada de preços, com valores muito baixos, por exemplo, pode levar ao sub-aproveitamento do potencial energético da usina. Isto se explica examinando a curva de permanência de vazões, apresentada na Figura 1 desta dissertação. O projetista da usina vai identificar, nesta curva, a vazão capaz de produzir energia nos parâmetros financeiros que sustentem o projeto, vertendo e desprezando o excedente de água que poderia ser aproveitado para fins de geração de energia.

Reconhecer a existência desse critério é o passo inicial para reformular a regulação técnica na fase de aprovação do projeto de usinas e impedir que sofisticadas construções, como as usinas hidrelétricas, prossigam neste ritmo de sub-aproveitamentos.

² O objetivo do autor, neste trabalho, é apresentar uma síntese da concepção de uma usina hidrelétrica de tal forma que permita a compreensão das seções seguintes. Os detalhes técnicos podem ser obtidos em livros especializados que também são citados pelo autor na lista de referências, tais como: Küuffner, Gerog (Ed.) *The power of water* e Ramos, Helena, *Small hydraulic turbines*.

³ Notícia fornecida por Cláudio Wilson Nóbrega e Ricardo Pigatto na 3ª Conferência de PCH, Mercado & Meio Ambiente, em São Paulo, em outubro de 2007. Foram apresentados os investimentos em PCH em uma faixa entre R\$ 4.200,00 a R\$ 5.000,00 por kW instalado, para viabilização de usinas como parâmetros decisivos.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, procurou-se apresentar o que é uma usina hidrelétrica de geração de energia elétrica, a forma como ela funciona, como opera e a classificação brasileira que a divide em pequenas e grandes centrais, além dos tipos mais aplicados de turbinas hidráulicas que podem cobrir toda a faixa operacional de baixas, médias e altas quedas.

As turbinas hidráulicas são máquinas que já existem há mais de 100 anos e ainda são pesquisadas e desenvolvidas para atender projetos mais sofisticados. São equipamentos de geração de energia de alta performance técnica.

Os projetos de usinas são produzidos sem capturar os ganhos técnicos que, cada vez mais, se expandem, e os critérios de definição de construção são apoiados em parâmetros financeiros.

As usinas hidrelétricas poderiam produzir mais energia elétrica se aproveitassem a evolução técnica de turbinas. A expectativa é de que a regulação técnica passe a ser mais exigente nos exames e na aprovação de projetos, de forma a maximizar o uso do recurso natural.

CAPÍTULO 3 – BAIXAS QUEDAS D'ÁGUA E SELEÇÃO DE PROJETOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS PARA ANÁLISE NESTE TRABALHO

No capítulo anterior, foram apresentados os principais tipos de turbinas que são aplicadas aos projetos de usinas hidrelétricas. Cada fabricante desenvolveu sua tecnologia de uso de turbinas conforme seus próprios interesses o que pode sugerir diferentes arranjos técnicos para uma mesma usina hidrelétrica.

Em um ambiente como este, é preciso reconhecer as dificuldades regulatórias na seleção de turbinas para os projetos. Não há possibilidade de ser diferente, pois uma regulação rígida pode desmotivar o desenvolvimento tecnológico, o que é o contrário do que se espera de uma regulação de segmento de mercado. É difícil supor que um agente regulador seja dotado de recursos técnicos capazes de selecionar um tipo de turbina, por exemplo. Por outro lado, seria possível, ao agente regulador, exigir uma maior performance técnica de usinas hidrelétricas, ou seja, maior produção de energia elétrica.

Nesse sentido, percebe-se que o mercado de geração hidráulica, no Brasil, conta com dois segmentos distintos: grandes e pequenas centrais. Esta segmentação já é uma evolução regulatória com conotações de mercado também distintas. Como esta dissertação pretende analisar os ganhos de energia a partir da seleção de máquinas para projetos, será focada nas PCH como forma única de direcionar os trabalhos, mas os princípios analisados não devem se esgotar nesse segmento, e também podem ser aplicados nas grandes centrais.

Nesta seção, será iniciada uma segmentação dos estudos para seleção de projetos de baixas quedas, com uma visão regulatória e direcionamento para as PCH e a tendência para implantação de usinas chamadas fio d'água. Busca-se uma melhor definição para baixas quedas a partir da aplicação da tecnologia de turbinas tipo Kaplan, sendo comparadas as eficiências destas máquinas com os demais tipos. Por fim, apresenta-se uma relação de 17 PCH que compõem a linha de pesquisa da dissertação. Ao final deste capítulo, serão reunidos elementos que sustentem uma análise crítica para definições de projetos, no que diz respeito à escolha de máquinas de geração.

3.1 DEFINIÇÕES DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS SEGUNDO A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

As PCH são usinas de produção de energia a partir da fonte hidráulica, com potências nominais de implantação de 1.000kW até 30.000kW e lago não superior a três quilômetros quadrados. Desde que preservadas as características de PCH, o lago poderá ser ampliado até o limite de 13Km², mas, neste caso, torna-se necessária a análise e aprovação específicas da Aneel.

Desde a segmentação do mercado em pequenas e grandes centrais, com a publicação da Lei 9.648/1998, e a caracterização de incentivos próprios para o segmento de PCH, ocorreu uma grande procura do mercado por projetos de PCH, como discutiram Sugai e Santos Júnior (2006), devido a algumas características importantes no mercado brasileiro, tais como:

a) oportunidade de negócio a investidores privados, uma vez que o investimento teto de uma PCH de 30.000kW seria em torno de R\$ 150 milhões, o que pode ser considerado um valor acessível ao médio investidor privado;

b) redução no custo da tarifa de acesso à transmissão da rede básica em 50%, o que desonera o custo de transporte da energia;

c) possibilidades múltiplas de geração distribuída, ou seja, construir unidades de PCH próximas a centros de consumo, encurtando o prazo de construção e reduzindo necessidades de grandes linhas de transmissão;

d) construção no conceito de usinas a fio d'água, proporcionando reduzidos impactos ambientais oriundos da formação de lagos de armazenamento;

e) a definição de PCH gerou um vácuo de interesse nas usinas de potências próximas às PCH, em especial aquelas com potências de instalação entre 30.000 e 50.000 kW. Essas usinas, por não contarem com os mesmos incentivos, tornam-se, muitas vezes, sem viabilidade econômica. Estas usinas precisam ser analisadas e resolvidas como uma espécie de legislação transitória entre as pequenas e grandes centrais.

Entre 1998 e 2005, foram concedidas 333 autorizações de PCH, totalizando 4.477,70MW de potência, o que equivalia, em 2006, a mais de três vezes a potência de PCH em operação, que era de 1.378,78MW. (SUGAI; SANTOS JÚNIOR, 2006).

De acordo com Tiago Filho e outros (2007), o potencial total de PCH no Brasil é de 26.000MW, sendo 10.500MW conhecidos e identificados e 15.500 MW chamados de potencial técnico. O Brasil possui 1.378,78MW de PCH em operação. Somando-se a estas as PCH em construção, para início de operação até o final de 2008, obtém-se o total de PCH efetivamente exploradas de 3.000MW.

Com um potencial estimado de 26.000MW, ainda se pode construir cerca de 23.000MW, ou seja, o Brasil está começando a explorar este potencial de energia renovável. Esta é a motivação necessária para que se busquem melhores condições técnicas de otimizações de projetos, a fim de melhorar a eficiência energética dos projetos de PCH.

3.2 USINAS A FIO D'ÁGUA

Em sua origem, as usinas hidrelétricas tinham, por concepção técnica, a formação de lagos que, na verdade, operavam (e ainda operam) como reservas de energia em forma de água. Estas concepções ainda fazem parte de projetos atualmente, tendo a finalidade de armazenar grandes volumes de água de tal forma que sustentem a produção de energia durante o período seco, ou seja, período sem chuvas. A matriz de energia elétrica do Brasil se apóia nesta concepção. Com a crescente atenção da sociedade sobre os impactos ambientais advindos da formação destes lagos, há uma tendência que as usinas hidrelétricas tenham seus projetos na configuração de usinas a fio d'água.

Uma usina a fio d'água pode ser definida como uma usina de energia hidráulica que gera eletricidade somente com aplicação da água afluenta (que chega à usina), sem capacidade de armazenamento. A barragem de contenção de água tem a finalidade exclusiva de armazenar um volume de água para regularização de algumas horas e produzir as condições mínimas de queda e de vazão para a geração de energia.

Cabe ressaltar a possibilidade técnica de unir as duas concepções de construção de usina, ou seja, é perfeitamente possível projetar uma central para fio d'água com a existência de reservatório para armazenamento. Neste caso, uma vez

atingido o limite de armazenamento do lago, a usina passaria a produzir apenas com a água afluyente, deixando o lago como reserva estratégica. A usina de Itaipu é um exemplo clássico dessa solução.

Acredita-se que a tendência para as usinas hidrelétricas será de uma exploração de energia para um padrão de média e baixa queda, uma vez que as regiões Norte e Centro-Oeste possuem cerca de 50% do potencial teórico. (TIAGO FILHO et al, 2007). Estas regiões estão sujeitas às usinas de baixas quedas devido ao seu relevo e às características ambientais.

De acordo com O Estado de São Paulo ([2006] apud CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, 2006), essa tendência ficou muito evidente, pois “[...] está cada vez mais difícil construir hidrelétricas com reservatórios no País por causa dos impactos ambientais. O último levantamento da Aneel mostrava que 90% das usinas licitadas são a fio d’água.”

Quando a construção de usinas tende a alterar para o conceito de fio d’água, as condições técnicas utilizadas para definição de máquinas de geração também devem ser revistas e adequadas a esta nova realidade.

3.3 SEGMENTAÇÃO DO TRABALHO PARA BAIXAS QUEDAS

É comum encontrar em livros referências a usinas de baixas, médias e grandes quedas. Entretanto, o que compreende cada faixa de definição não deve ser encontrado de forma tácita. (RAMOS, 2000).

Com as definições de turbinas e as respectivas faixas de aplicação elaboradas nas seções anteriores, pode-se observar que a turbina do tipo Pelton atende a uma faixa operacional com alta queda e baixa vazão. A turbina do tipo Kaplan encontra aplicação em zonas de baixa queda e alta vazão. A turbina do tipo Francis pode atender às zonas intermediárias de aplicação entre a Pelton e a Kaplan, levando-se em conta suas limitações às variações de quedas e vazões.

Analisando-se a faixa de aplicação de tipos de turbinas, disponível em Küuffner (2006), pode-se observar que a amplitude de aplicação da turbina Pelton é maior do que a da turbina Francis que, por sua vez, é sempre maior do que a da

turbina Kaplan. Considerando-se os estudos de Küuffner (2006), elaborados com base na conjugação queda e vazão, pode ser aproximada uma definição de tipos de usinas a partir da aplicação técnica de turbinas hidráulicas. As diferenças técnicas entre usinas hidrelétricas de baixa, média e alta quedas podem encontrar consistência na faixa de aplicação de tipos de turbinas, ou seja: as usinas de baixa queda poderiam ser aquelas em que a solução técnica seja a turbina do tipo Kaplan, e as usinas de média e alta quedas para as tecnologias de turbinas Francis e Pelton, respectivamente.

A existência de uma regulação técnica que fortaleça melhor o aproveitamento do potencial de energia em usinas à fio d'água e de baixa queda (em que as turbinas tipo Kaplan sejam especificadas) certamente será um fator de motivação para que pesquisas sejam desenvolvidas buscando uma aplicação cada vez maior, ou seja, criaria um mecanismo diferencial de competição entre fabricantes para se aplicarem turbinas do tipo Kaplan à quedas d'água cada vez maiores. Isto possibilitaria projetos de usinas mais modernos e com melhor performance.

3.4 TECNOLOGIA DE GERAÇÃO RECOMENDÁVEL À BAIXA QUEDA

Ao longo do desenvolvimento das tecnologias de geração de energia hidráulica, as turbinas da família tipo Kaplan foram a causa de grande impacto no meio técnico. Isso se deve, ainda hoje, devido à ampla faixa de operação que esses tipos de turbinas se ajustam.

Os dois componentes básicos do conceito da turbina Kaplan são: distribuidor capaz de regular a vazão de água à necessidade de geração e a roda da turbina capaz de se ajustar a variações que possam ocorrer nas quedas d'água. Essas habilidades técnicas da turbina tipo Kaplan conferem a ela o poder de conjugação queda X vazão adequadas, sendo estes quesitos não acessíveis às turbinas dos tipos Pelton e Francis. Quando se aplicam as turbinas do tipo Kaplan a projetos hidrelétricos é fornecida, à usina, uma capacidade suplementar de operação que tende a contribuir para ganhos energéticos da usina. As turbinas da família Kaplan são dimensionadas para aproveitamentos de baixa queda (RAMOS, 2000;

KÜUFFNER, 2006). Complementa-se a esta definição, em alguns casos, a capacidade de gerar energia com grandes vazões. A ausência de uma regulação técnica possibilita a aplicação de outros tipos de turbinas à baixa queda. Isso se deve, muitas vezes, pela busca de solução de baixo custo com turbinas do tipo Francis, em detrimento do benefício energético. A existência de uma regulação técnica mais rigorosa pode resultar em maior benefício de energia às usinas hidrelétricas classificadas como baixas quedas.

A questão da regulação técnica precisa ser discutida e implantada. O agente regulador atribui, à usina hidrelétrica, um certificado de energia. Esta energia garantida torna-se a base de comercialização da energia produzida pela respectiva usina. A partir deste momento, o investidor perde o interesse por qualquer energia suplementar que, eventualmente, a usina possa oferecer. Como consequência, a tecnologia de geração deixa de ser incentivada. O agente regulador deveria levar em consideração qual a melhor tecnologia para equipar a usina hidrelétrica, levando em conta a maximização na produção de energia. Não há existência de mecanismo regulatório que avalie as técnicas de geração de energia, o que é ruim para a evolução da base tecnológica. O fator econômico poderia ser um instrumento de incentivo ao avanço tecnológico.

3.5 ANÁLISE COMPARATIVA DE PERFORMANCES DE MÁQUINAS DE GERAÇÃO HIDRÁULICA

Nas seções anteriores, foram apresentadas as características básicas das principais turbinas hidráulicas aplicáveis às condições técnicas do Brasil. Nesta seção, será realizada uma análise em um mesmo contexto para que se possa compreender o diferencial técnico que cada tipo de equipamento é capaz de oferecer à usina hidrelétrica.

No gráfico apresentado na Figura 8, são comparados os desempenhos de alguns dos principais tipos de turbinas hidráulicas:

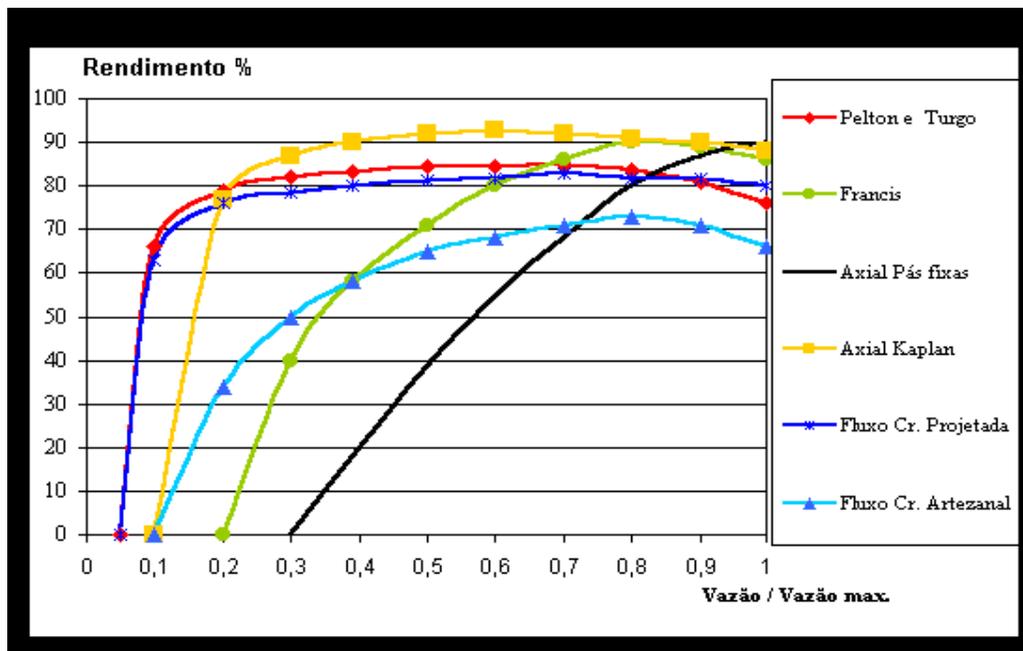


Figura 8 – Gráfico dos rendimentos de alguns tipos de turbinas com variação de vazões e queda constante

Fonte: Harvey e outros (1998 apud MELLO, [entre 1998 e 2008]).

Uma análise do gráfico sugere algumas observações:

a) as principais máquinas hidráulicas tipo Francis, Pelton e Kaplan têm eficiência energética acima de 80%, o que confere a esta forma de geração uma elevada performance técnica;

b) as eficiências máximas das turbinas são próximas, quando analisadas em um único ponto – vazão turbinada (Q) dividida por vazão turbinada máxima ($Q_{máx}$), sendo ($Q/Q_{máx} = 0,8$ no caso do gráfico) –, mas, à medida que se afasta desse ponto, percebe-se um descolamento acentuado em relação ao tipo de turbina;

c) considerando-se as famílias de turbinas Francis e Kaplan, cuja eficiência máxima se toca no ponto de $Q/Q_{máx} = 0,8$, nota-se que as turbinas Francis têm uma acentuada perda de rendimento à medida que ocorre a variação de vazão, e;

d) a variação de eficiência da turbina Kaplan é de 10%, mesmo com variação de vazão entre 20 e 100%.

A afirmação de Ramos (2000, p. 89, tradução nossa) de que “a turbina Kaplan (dotada de pás móveis) mantém alta eficiência em ampla faixa de variação de carga”, sugere reconhecimento da versatilidade técnica da turbina Kaplan. A definição de máquinas diferentes para manter o mesmo nível de eficiência pode

onerar o projeto ou deixar de maximizar a eficiência energética do aproveitamento hidráulico. O desenvolvimento técnico da turbina Kaplan vem ocorrendo lentamente o que pode ser notado com a recomendação crescente de aplicação a quedas d'água cada vez maiores. Isso significa o alargamento da faixa de aplicação e, conseqüentemente, transcende a tradicional faixa de aplicação de máquinas Francis. A Figura 9 abaixo ilustra as faixas de aplicação de turbinas⁴:

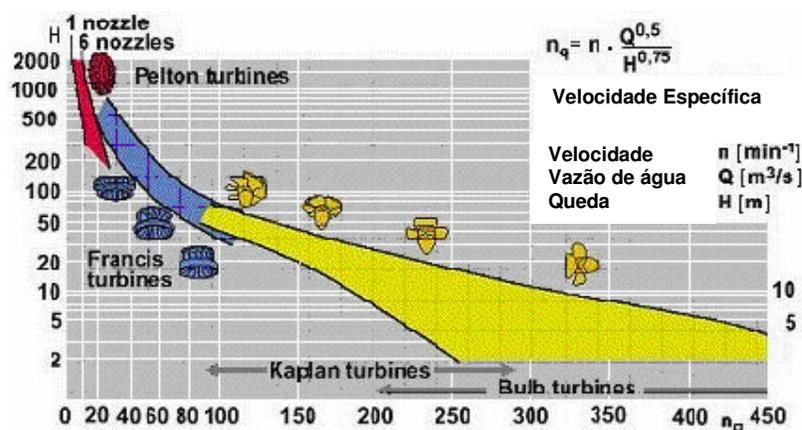


Figura 9 – Gráfico das faixas de aplicação de turbinas Pelton, Kaplan e Francis
Fonte: Voith Siemens Hydro Power Generation (2008).

Analisando-se a Figura acima, observa-se que: a) as turbinas da família Kaplan, concebidas para baixas quedas, estão em amplo desenvolvimento e já se aproximam para aplicação em projetos com, aproximadamente, 80 metros de queda d'água; b) é notório um avanço acentuado da Kaplan sobre a faixa de aplicação de turbinas Francis; c) a turbina Francis eleva sua faixa de operação à faixa da turbina Pelton.

3.6 EFICIÊNCIA DAS TURBINAS DA FAMÍLIA KAPLAN

Nesta seção, será avaliada a eficiência técnica de turbinas da família Kaplan como forma de subsidiar a seção seguinte e apurar a versatilidade operacional da turbina Kaplan.

As curvas de rendimento das turbinas tipo Kaplan são semelhantes,

⁴ Pode haver variação de faixa de aplicação entre fabricantes.

independentemente do fabricante. Tomando-se como exemplo a curva de eficiência da turbina Kaplan da PCH Canoa Quebrada, exibida na Figura 10 a seguir, considera-se uma queda constante igual a 23,76m. A curva de eficiência é calculada tomando-se a variação de vazão de água da usina hidrelétrica. Trata-se de um gráfico típico de turbina Kaplan aplicável à usina que opera na concepção fio d'água.

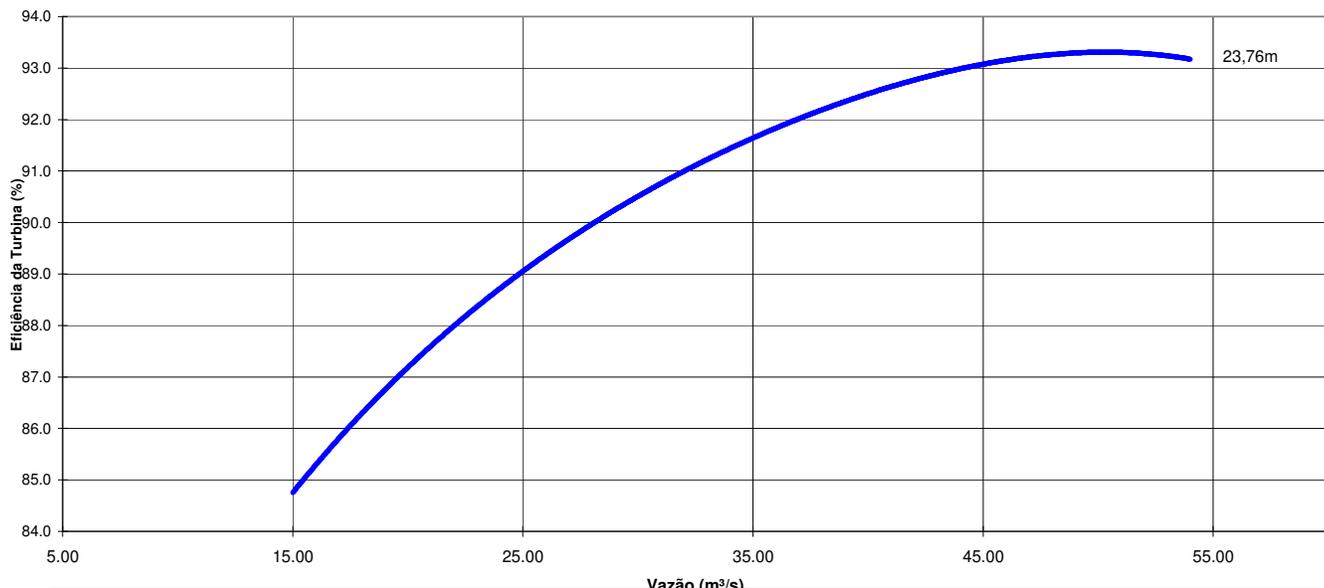


Figura 10 – Gráfico da curva de eficiência das turbinas Kaplan da PCH Canoa Quebrada
Fonte: Alstom Brasil (2008).

Com todas as considerações realizadas sobre as turbinas Kaplan, até este trecho, nesta dissertação, e uma análise da Figura 10, podem-se tecer alguns comentários:

a) a eficiência máxima da turbina ocorre no ponto de vazão de $50\text{m}^3/\text{s}$ de água, com cerca de 93,50%;

b) uma redução da vazão de água turbinada de 50%, ou seja, para $25\text{m}^3/\text{s}$, fornece à turbina uma eficiência de 89%. Isso sugere a grande capacidade de ajuste que a turbina Kaplan é capaz de oferecer ao projeto com pouca influência sobre a eficiência;

c) uma análise mais arrojada no ponto de $15\text{m}^3/\text{s}$ de vazão turbinada (cerca de 30% da vazão do ponto ótimo) indica uma eficiência de, aproximadamente, 85%, o que ainda deve ser considerado como ótima eficiência de geração de energia;

d) há uma versatilidade operacional capaz de se ajustar a grandes variações de vazão de água, mantendo-a com elevado nível de eficiência, sendo uma típica recomendação para projetos de fio d'água.

3.7 SELEÇÃO DE PROJETOS DE USINAS PARA AVALIAÇÃO COM APLICAÇÃO DE TURBINAS DA FAMÍLIA KAPLAN

Para se examinar eventuais benefícios energéticos que a aplicação de turbinas do tipo Kaplan possa dar ao projeto, foram selecionados alguns projetos de PCH que serão analisados sob a ótica de seleção de máquinas e com base na ficha de projeto de cada PCH dos respectivos projetos básicos das usinas. Esta relação consta na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Relação de projetos de PCH selecionados para pesquisa

Nº	PCH	Potência total do projeto (KW)	Queda d'água (m)
1	A	8.000	34,41
2	B	10.000	28,87
3	C	21.880	14,73
4	D	9.900	35,15
5	E	16.740	13,98
6	F	20.000	15,05
7	G	14.650	28,26
8	H	30.000	18,00
9	I	16.140	8,78
10	J	13.400	6,83
11	K	27.000	22,80
12	L	30.000	25,17
13	M	19.500	17,10
14	N	20.000	30,20
15	O	11.000	25,20
16	P	13.000	37,00
17	Q	7.000	44,10

Fonte: Fichas técnicas resumos dos projetos básicos.

Todos os projetos selecionados apresentam quedas d'água inferiores a 45m, o que os enquadra na aplicação de turbinas do tipo Kaplan. Para cada PCH, será analisado o eventual benefício de produção de energia que se pode extrair do respectivo projeto. A pesquisa de dados técnicos foi elaborada com base na ficha resumo que integra o projeto básico da PCH. Esta ficha resumo já fez parte do banco de informação da Aneel, que estava disponível na internet até o ano 2004.

Entretanto, informações técnicas de projetos não são mais disponibilizadas pela agência em seu sítio eletrônico⁵.

⁵ Isso contraria a transparência que esta agência reguladora deveria apresentar à sociedade, especialmente por se tratar de um bem público. A falta de informações técnicas à sociedade impede que sejam realizados estudos técnicos sobre a tendência de geração de energia, prejudicando os agentes que atuam no setor na condução dos seus investimentos produtivos em tecnologia e recursos industriais. O autor optou por atribuir nomes fantasias aos projetos analisados.

CAPÍTULO 4 – ANÁLISE DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS DEZESSETE PROJETOS SELECIONADOS PARA ESTUDO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA

Com os projetos selecionados para análise, neste capítulo, será explicada a metodologia aplicada para confirmação, ou não, de ganhos de energia decorrentes da aplicação de turbinas da família Kaplan, estabelecendo-se um novo arranjo técnico aos projetos. São apresentadas as principais etapas da concepção do projeto, a escolha do tipo de máquina de geração hidráulica, o critério para elaboração da curva de vazão e os níveis de água e vazão das barragens adotados em projetos. O que se pretende é reunir os elementos relevantes na determinação da potência da usina para se buscar um aproveitamento da energia da vazão de água que não é utilizada.

4.1 PROJETO BÁSICO DE UMA PCH

O projeto básico de uma PCH é elaborado na fase que antecede a obtenção da concessão junto à Aneel para exploração dos serviços públicos de geração de energia. No projeto básico, a empresa de engenharia deve apresentar um projeto detalhado da PCH, contendo a concepção da obra civil, a definição da potência firme, a energia que a PCH vai gerar, os impactos ambientais com a respectiva mitigação, os custos do empreendimento e o cronograma de execução. Neste projeto, define-se a forma de geração de energia da PCH, com o número de unidades geradoras e o tipo de turbina que será adotada na construção. O projeto básico é submetido à Aneel para aprovação, sendo uma condição para obtenção da autorização de exploração de PCH.

O tipo de turbina, definido no projeto básico, muitas vezes não recebe a orientação técnica de fabricantes especializados, o que causa a perda de otimização de projetos e afasta a possibilidade de ganhos de energia. A base desta dissertação concentra-se no questionamento realizado pelo autor sobre os limites de geração a

partir da vazão turbinada definida no projeto básico. Uma vez definido o tipo e a vazão máxima que a turbina é capaz de engolir, o projeto ficará limitado a esses parâmetros na produção de energia. Os estudos de casos poderão mostrar justamente que o tipo adequado de turbina pode levar a uma maior geração de energia.

a) Curva de vazão

O estudo energético das PCH se baseia na Resolução 169/2001 e compreende um estudo de levantamento das vazões médias mensais por um período mínimo de 30 anos. (ANEEL, 2001). São coletadas informações diárias que irão compor a média mensal de cada ano. Ao final do levantamento de dados de um ciclo mínimo de 30 anos, são extraídas as vazões médias mensais do período. Esses dados dão origem à curva de vazão média do rio analisado.

O Anexo A apresenta, como exemplo, a curva de vazão da PCH F (nome adotado) que apura as vazões médias mensais do período de 1931 a 2002, sendo que o resultado desse período reflete as médias mensais. Essa média vai alimentar a curva de vazão do período histórico para avaliação das possibilidades energéticas.

A curva de vazões pode ser resumida de forma tabular com os principais valores e a respectiva porcentagem de tempo de cada vazão durante o período estudado, além da forma gráfica, conhecida como curva de permanência de vazões.

Tabela 2 – Curva de permanência de vazões PCH F

% do tempo	Vazão (m ³ /s)
95	33,5
90	37,5
80	47,5
70	60,4
60	69,0
50	86,0
40	119,0
30	155,0
20	195,0
10	231,0

Fonte: Ficha técnica do projeto básico.

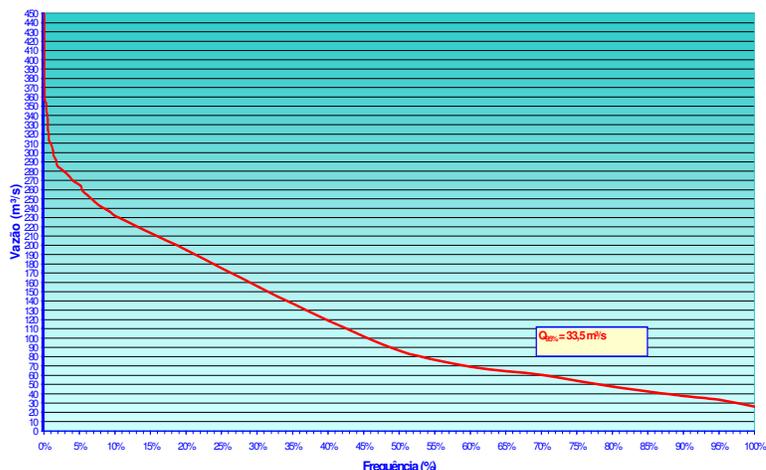


Figura 11 – Gráfico da curva de permanência de vazões PCH F
Fonte: Ficha técnica do projeto básico.

b) Nível de água da barragem

Existem dois níveis de água que precisam estar bem determinados na concepção de um projeto de usina hidrelétrica, conhecidos como de nível montante e de nível jusante. Na concepção técnica da barragem, os níveis de água de montante (acima da barragem) são definidos para fins de projeto e sua representação numérica indica o nível de água da barragem em relação ao nível do mar. Por exemplo, quando o nível de água de montante de uma barragem indica 200m, significa que o espelho d'água daquela barragem estará a altitude de 200m em relação ao nível do mar.

O projeto básico indica: a) nível nominal (de referência) que é a cota adotada para definição da queda d'água da usina é aplicável para o projeto dos equipamentos de geração; b) nível máximo que é indicado pela curva de vazões e ainda é um nível operacional; c) nível máximo maximorum, que é indicado por simulação para um período de 100 anos.

A variação do nível de água montante de uma PCH é relativamente pequena (em torno de cinco metros) e não poderia ser diferente, pois é a partir dessa cota que é definida a altura de construção da barragem, em concreto ou terra. Os riscos de cheia são mitigados com a construção de vertedouros em que se dissipa todo o excedente de água que as unidades geradoras não são capazes de turbinar.

Enquanto isso, o nível de água de jusante é aquele que será encontrado depois da barragem e antes da água chegar ao leito do rio. Tem a mesma representação numérica do nível de montante, no que diz respeito ao nível do mar. O projeto básico indica: a) nível normal de jusante, que é a cota adotada para definição da queda d'água de projeto; b) nível máximo de jusante, que é a cota máxima de água que será verificada abaixo da barragem. O nível máximo de jusante é um dado importante na metodologia desta dissertação, pois se trata de um fator chave na determinação da queda d'água na época úmida (período de chuvas), quando a abundância de chuvas mantém o rio cheio e, conseqüentemente, o nível de jusante da barragem tende a ser maior. O nível de jusante pode ter grandes variações e a barragem deve ser projetada para essas alterações.

A representação dos níveis de montante e de jusante pode ser observada na Figura 12 a seguir:

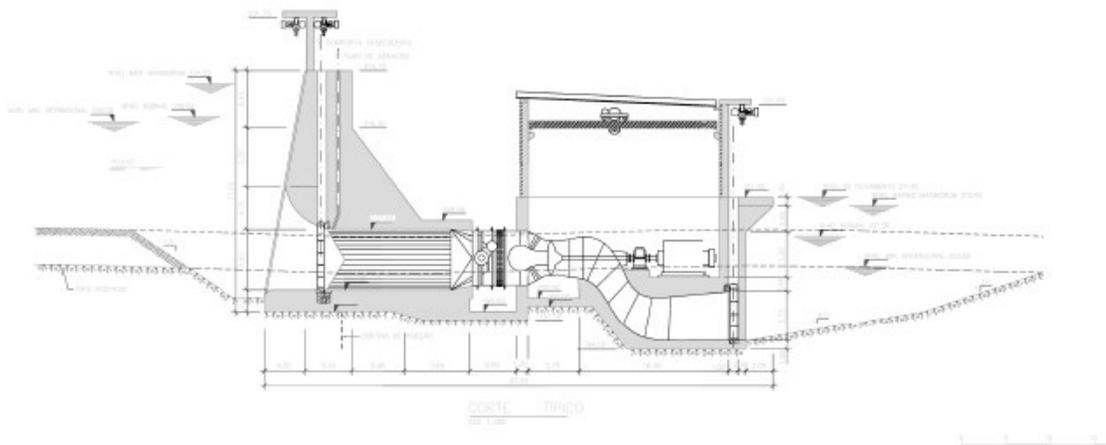


Figura 12 – Desenho técnico ilustrativo dos níveis de montante e jusante
Fonte: Projeto básico da PCH F.

c) Queda d'água

Uma vez conhecidos os níveis de água de montante e de jusante de uma barragem, a queda d'água que se aplica na produção de energia e na definição dos equipamentos é o resultado da diferença entre as respectivas cotas. Esta dissertação pesquisa o excedente de energia não produzida que ocorre justamente no período úmido, no qual está localizado o projeto de PCH. Como é no período úmido que se verifica o maior nível de jusante, define-se a queda para apuração da energia excedente com base na seguinte regra (2):

$$H = NAM - NAJ_{max} \quad (2)$$

Sendo:

H = queda d'água em metros.

NAM = nível d'água a montante de projeto (ou normal).

NAJ_{max}. = nível de água de jusante adotado para todo o período de excedente de água.

d) Vazão

A vazão de água de uma usina pode ser identificada por vazão de projeto (que gera energia) e vazão excedente (que não gera energia).

A vazão de projeto é a que está definida nos projetos básicos das 17 PCH estudadas como a vazão máxima (em metros cúbicos por segundo) que o conjunto de turbinas do projeto básico é capaz de engolir em qualquer período, seco ou úmido, e gerar energia.

A vazão excedente é incapaz de ser absorvida pelas turbinas do projeto básico, sendo descartada por meio do vertedouro da barragem, e não produz energia. A tarefa desta dissertação é pesquisar a energia que é deixada de ser produzida com essa vazão excedente e descartada como vazão de projeto, com a aplicação de turbinas hidráulicas do tipo Kaplan, capaz de absorver o máximo da vazão excedente.

A Figura 1 (seção 1.1), que apresenta o gráfico da curva de permanência da

PCH N, evidencia que, durante 25% do tempo, esta PCH tem um excedente de água que não gera energia.

4.2 TURBINAS HIDRÁULICAS E RENDIMENTOS ADOTADOS

A apuração de energia excedente será calculada adotando-se performances técnicas de rendimento de equipamentos, de forma conservadora. Assim, os rendimentos técnicos adotados pelo autor são: 90% para as turbinas hidráulicas, 96% para os geradores e 98% para os transformadores.

a) Apuração da energia excedente

Com os parâmetros já definidos de queda de projeto a ser considerada, e vazão excedente sendo aquela que, no projeto original da PCH, não foi aproveitada para a produção de energia, a energia excedente de cada um dos 17 projetos de PCH deverá ser calculada com a aplicação da seguinte equação (3):

$$Ee = H \times Q \times g \times \gamma \times pt \times pg \times ptr \times hm \quad (3)$$

Sendo:

Ee = energia mensal excedente (ou vertida) em kWh.

H = queda d'água em metros.

Q = vazão de água não turbinada pela definição do projeto básico original da PCH em m^3/s .

g = aceleração da gravidade em m/s^2 , adotada em $9,81m/s^2$.

γ = massa específica da água ($1000 \text{ kg}/m^3$).

pt = rendimento da turbina, adotado 0,90 (90%).

pg = rendimento do gerador, adotado 0,96 (96%).

ptr = rendimento do transformador, adotado 0,98 (98%).

hm = quantidade de horas por mês, adotado 720h/m.

O parâmetro H , adotado na apuração dos cálculos, será a queda normal de

projeto reduzida da elevação do nível jusante, como explicado na seção c do item 4.1 deste capítulo.

b) Potência adicional

Uma vez que o resultado dos cálculos da pesquisa será em forma de energia produzida, ou seja, em kWh, será necessário calcular a potência equivalente (em kW) com o objetivo de apurar qual o valor necessário ao ajuste nos equipamentos de geração de energia, como, por exemplo, os geradores, os transformadores e os equipamentos elétricos da PCH, visto que estes precisam ser dimensionados para o novo nível de potência da PCH para sustentar o excedente de energia obtido. A potência equivalente em kW é calculada para o ponto em que se obtém a maior energia gerada, para que haja conforto e segurança técnica e a garantia de que os equipamentos de PCH estejam dimensionados adequadamente. Assim, a apuração da potência equivalente será dada pela seguinte equação (4):

$$Pe = H \times Q \times g \times \gamma \times pt \times pg \quad (4)$$

Sendo:

Pe = potência equivalente ao excedente de energia, dada em kW.

H = queda d'água em metros e no mesmo conceito definido na seção 4.3.

Q = vazão de água não turbinada pela definição do projeto básico original e relativa ao mês de maior excedente.

g = aceleração da gravidade em m/s^2 , adotada em $9,81 m/s^2$.

γ = massa específica da água ($1000 kg/m^3$).

pt = rendimento da turbina, adotado 0,90 (90%).

pg = rendimento do gerador, adotado 0,96 (96%).

CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DE UM CASO E RESULTADO GERAL DAS AVALIAÇÕES DOS PROJETOS ESTUDADOS

Para melhor esclarecer os resultados obtidos com a aplicação da metodologia proposta do capítulo anterior, nessa etapa, inicialmente será apresentado o resultado da aplicação a um único projeto e, em seguida, os resultados alcançados nos 17 projetos selecionados para estudo de energia, conforme citado no item 3.7 do capítulo 3.

5.1 AVALIAÇÃO DE UM ÚNICO CASO

Para avaliação de um único caso, foi escolhida a PCH denominada nesta dissertação de “B”. Os dados gerais da PCH B estão no Quadro 2 a seguir e consideram as quedas d’água, de projeto e período úmido, a potência, a vazão turbinada e a concepção original de projeto com duas turbinas tipo Kaplan horizontal tipo “S”. Essas informações foram extraídas da ficha resumo original do projeto, sendo a concepção proposta com apenas uma turbina tipo Kaplan⁶ e a recomendação técnica sugerida para o projeto.

Projeto	PCH B
Queda d’água	28,87m
Queda d’água no período úmido	22,07m
Potência	10.000 kW
Vazão turbinada original	40,10 m ³ /s
Ficha de projeto	Agosto de 2002
Concepção original	2 turbinas Kaplan horizontal tipo S
Concepção proposta	1 turbinas Kaplan horizontal tipo S

Quadro 2 – Resumo técnico da PCH B

Nota: Elaborado a partir dos dados da ficha do projeto da PCH B.

Comparando-se a solução original e a proposta, tem-se o disposto na Tabela

⁶ Para os 17 projetos de PCH estudados neste trabalho, o autor aplicou, sempre que possível, uma única turbina do tipo Kaplan. Reconhece, entretanto que a disponibilidade da usina poderá ficar reduzida devido a paradas forçadas por defeito ou programadas para manutenção. A ampliação de unidades geradoras pode também aumentar o rendimento de usina durante a operação. Estas decisões devem ser tomadas pelo investidor.

3. Na coluna vazão média mensal (VMM), encontram-se as médias de 30 anos de histórico de vazão do rio onde será construída a PCH. Nas colunas indicadas como 1ª turbina e 2ª turbina, são apresentadas as vazões máximas que as turbinas serão capazes de engolir, conforme definido no projeto básico original. Nestas colunas, respectivamente, estão indicadas as vazões de 20,05 e 40,10m³/s, vazões máximas admitidas para geração de energia. A coluna “1ª turbina S” mostra a vazão constante de 52,32m³/s, que é a VMM máxima verificada para o mês de janeiro do histórico de vazão. A turbina proposta está dimensionada a partir desta vazão. A coluna “excesso de água” apresenta a diferença de vazões máximas turbinadas entre as duas concepções de projeto.

Observa-se que o resultado de janeiro (12,22m³/s) é obtido por meio da diferença entre a VMM de 52,32m³/s e a vazão máxima turbinada do projeto original, de 40,10m³/s. A vazão excedente de 12,22m³/s é a maior constatada e será à base de cálculo da energia suplementar e a respectiva potência nominal adicional. As demais vazões (coluna excesso de água) positivas representam a diferença entre as vazões máximas turbinadas das duas concepções de projetos, e serão utilizadas para determinar a energia suplementar. Os números negativos indicam que a vazão disponível da média mensal é inferior à vazão turbinada do projeto original, ou seja, não haverá energia excedente a ser apurada.

Tabela 3 – Excedente de água não turbinada na solução técnica original do projeto

Mês	VMM (m ³ /s)	1ª Turbina	2ª Turbina	1ª Turbina S	Excesso de água (m ³ /s)
Janeiro	52,32	20,05	40,10	52,30	12,22
Fevereiro	45,47	20,05	40,10	52,30	5,37
Março	38,08	20,05	40,10	52,30	-2,02
Abril	28,91	20,05	40,10	52,30	-11,19
Mai	21,56	20,05	40,10	52,30	-18,54
Junho	17,84	20,05	40,10	52,30	-22,26
Julho	15,20	20,05	40,10	52,30	-24,90
Agosto	13,17	20,05	40,10	52,30	-26,93
Setembro	13,70	20,05	40,10	52,30	-26,40
Outubro	16,08	20,05	40,10	52,30	-24,02
Novembro	25,41	20,05	40,10	52,30	-14,69
Dezembro	42,67	20,05	40,10	52,30	2,57

Nota: elaboração própria.

5.1.1 Representação gráfica

A visualização gráfica das duas soluções e a respectiva comparação entre a solução original proposta ao projeto da PCH B é apresentada na Figura 13 a seguir.

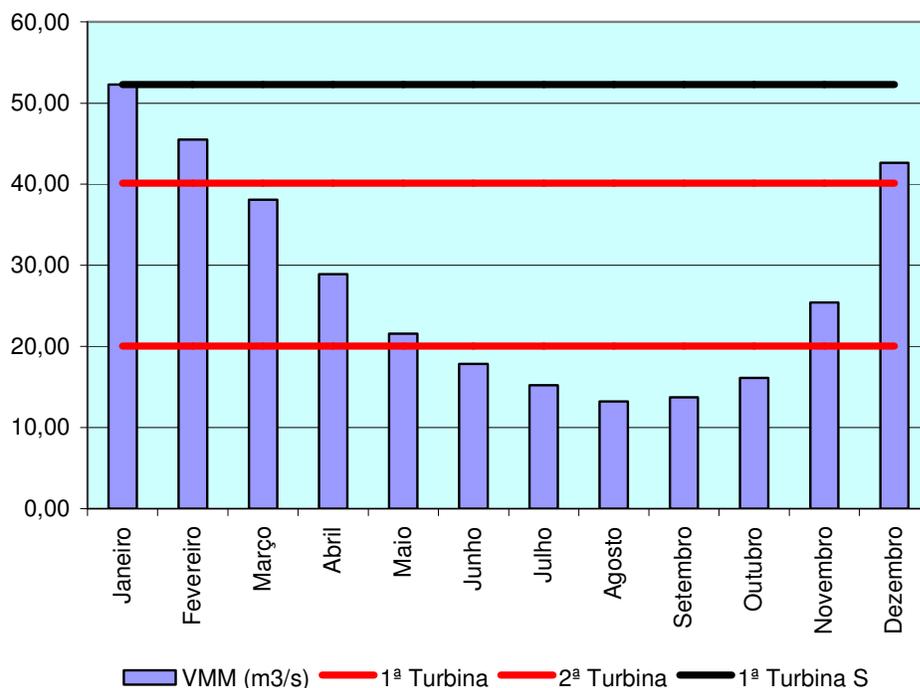


Figura 13 – Gráfico da curva de vazão da PCH B
Fonte: Ficha-resumo da PCH B.

Sendo:

- as barras em azul indicam a série histórica de VMM;
- as linhas vermelhas indicam a solução do projeto básico da PCH com duas turbinas e os respectivos limites de vazões turbinadas, e;
- a linha preta indica a solução proposta para o projeto alternativo da PCH, com uma turbina engolindo toda a vazão disponível.

A solução alternativa ao projeto PCH B, além de reduzir a quantidade de unidades geradoras de duas para apenas uma e de sugerir uma construção mais econômica, poderá oferecer um ganho na energia adicional avaliada em mais de 2.660.000kWh/ano.

Para sustentar este ganho na energia gerada, a potência adicional da PCH

deverá ser de, aproximadamente, 2.286kW, ou seja, a potência nominal original de 10.000kW deveria ser revisada para 12.286kW, que seria a potência disponível no ponto de maior vazão encontrada no mês de janeiro do histórico de vazão.

A Tabela 4 é representada, a seguir, com as respectivas energias adicionais e as potências equivalentes em cada ponto:

Tabela 4 – Energia adicional e potência equivalente apuradas com excedente de vazão não turbinada na solução original do projeto

Mês	VMM (m ³ /s)	1ª Turbina	2ª Turbina	1ª Turbina S	Excesso de água (m ³ /s)	Energia Adicional kWh/mês	Potência equivalente kW
Janeiro	52,32	20,05	40,10	52,30	12,22	1.612.927,55	2.285,90
Fevereiro	45,47	20,05	40,10	52,30	5,37	708.790,59	1.004,52
Março	38,08	20,05	40,10	52,30	-2,02	-	-
Abril	28,91	20,05	40,10	52,30	-11,19	-	-
Mai	21,56	20,05	40,10	52,30	-18,54	-	-
Junho	17,84	20,05	40,10	52,30	-22,26	-	-
Julho	15,20	20,05	40,10	52,30	-24,90	-	-
Agosto	13,17	20,05	40,10	52,30	-26,93	-	-
Setembro	13,70	20,05	40,10	52,30	-26,40	-	-
Outubro	16,08	20,05	40,10	52,30	-24,02	-	-
Novembro	25,41	20,05	40,10	52,30	-14,69	-	-
Dezembro	42,67	20,05	40,10	52,30	2,57	339.216,35	480,75

Nota: elaboração própria.

As conclusões que podem ser retiradas dessa única demonstração são: a PCH poder operar com uma única unidade geradora do tipo Kaplan, e a PCH pode produzir um adicional de energia durante três meses, com elevação de potência instalada em 2.286kW.

5.2 RESULTADO GERAL DAS AVALIAÇÕES DOS PROJETOS

A aplicação da metodologia de cálculo da energia excedente e da potência equivalente, detalhada no capítulo 4 em cada um dos 17 projetos de PCH selecionados para avaliação, produziu resultados técnicos que são apresentados nesta seção.

5.2.1 Energia adicional e potência equivalente

A aplicação de turbinas do tipo Kaplan a projetos de usinas hidrelétricas, quando selecionadas levando-se em consideração o estado atual da arte, pode possibilitar ganhos de energia sem impor grandes modificações aos projetos. Analisando-se os resultados, tem-se:

Tabela 5 – Energia adicional (em kWh) de cada PCH com a vazão excedente não turbinada na solução técnica original

N°	PCH	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Janeiro	1.257.316	1.612.928	955.872	517.318	-	2.773.003	-	1.573.896	-
2	Fevereiro	628.658	708.791	1.355.600	703.552	-	5.002.553	-	2.187.501	-
3	Março	-	-	1.642.361	827.708	-	6.584.140	-	2.494.303	181.713
4	Abril	-	-	1.251.323	641.474	-	2.856.611	-	1.982.966	-
5	Maio	-	-	721.249	434.547	-	-	-	1.267.094	-
6	Junho	-	-	34.759	124.156	369.742	-	-	244.419	-
7	Julho	-	-	-	-	1.147.740	-	-	-	-
8	Agosto	-	-	-	-	2.341.697	-	-	-	-
9	Setembro	-	-	-	-	3.651.199	-	-	-	-
10	Outubro	-	-	-	41.385	4.637.177	-	212.920	39.884	-
11	Novembro	-	-	8.690	82.771	-	-	-	244.419	-
12	Dezembro	186.898	339.216	425.797	269.005	-	-	-	858.024	-
	Total	2.072.872	2.660.934	6.395.651	3.641.917	12.147.555	17.216.307	212.920	10.892.506	181.713

Continuação

N°	PCH	J	K	L	M	N	O	P	Q	Total
1	Janeiro	-	25.120.427	28.033.977	16.324.798	-	-	3.491.806	3.323.154	84.984.492
2	Fevereiro	-	25.292.092	28.054.762	16.325.581	-	-	637.288	1.582.454	82.478.831
3	Março	-	25.292.092	28.054.762	16.325.581	-	-	349.623	553.859	82.306.143
4	Abril	-	24.321.807	27.141.590	15.819.471	-	-	-	-	74.015.242
5	Maio	-	3.423.364	3.776.016	2.604.196	-	-	-	-	12.226.466
6	Junho	-	-	-	-	596.022	-	-	-	1.369.098
7	Julho	-	-	-	-	2.221.536	-	-	-	3.369.276
8	Agosto	-	-	-	-	1.878.372	-	-	-	4.220.069
9	Setembro	-	-	-	-	3.576.131	-	-	-	7.227.330
10	Outubro	-	-	-	-	5.508.687	421.988	-	-	10.862.041
11	Novembro	-	-	-	-	-	-	-	-	335.880
12	Dezembro	-	5.941.129	6.591.747	4.196.955	-	-	2.717.324	2.268.184	23.794.280
	Total	-	109.390.911	121.652.853	71.596.581	13.780.748	421.988	7.196.040	7.727.652	387.189.148

Nota: elaboração própria.

Observa-se que o projeto C poderia fornecer mais energia ao longo de oito meses do ano, assim como os projetos D e H poderiam fornecer mais energia ao longo de nove meses do ano, exigindo pouca adequação à potência de instalação

original dos projetos.

Os projetos A e B poderiam fornecer energia adicional por mais três meses do ano, assim como os projetos P e Q poderiam fornecer energia adicional por mais quatro meses do ano. Destaca-se que são meses contínuos, sugerindo um melhor aproveitamento hidrológico regional e, também, com pouca adequação à potência de instalação original do projeto.

Os projetos E e N poderiam fornecer energia adicional por mais cinco meses do ano e justamente em meses complementares às demais usinas analisadas, podendo ser sugerida uma complementação na hidrologia entre regiões. A potência adicional respectiva também demanda pouca adequação.

Os projetos G, I e O oferecem poucos resultados de energia adicional e os ganhos obtidos estão localizados, cada um, em único mês. Infere-se que houve uma preocupação do projetista em maximizar o aproveitamento energético disponível nos respectivos locais de instalação das usinas.

O projeto J apresenta resultado igual a zero, significando total aproveitamento da energia disponível na curva de vazão do rio com aplicação de equipamentos adequados à exploração plena do potencial.

Os projetos K, L e M são os casos mais críticos dos projetos analisados, pois apresentam um excedente de energia significativo, sugerindo-se uma subavaliação dos projetos originais. As potências equivalentes ao aproveitamento das energias excedentes chegam a atingir mais de 100% da potência original das usinas.

Tabela 6 – Potência equivalente (em kW) à energia adicional de cada PCH apurada com a vazão excedente e não turbinada na solução técnica original do projeto

N°	PCH	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Janeiro	1.782	2.286	1.355	733	-	3.930	-	2.231	-
2	Fevereiro	891	1.005	1.921	997	-	7.090	-	3.100	-
3	Março	-	-	2.328	1.173	-	9.331	-	3.535	258
4	Abril	-	-	1.773	909	-	4.048	-	2.810	-
5	Maio	-	-	1.022	616	-	-	-	1.796	-
6	Junho	-	-	49	176	524	-	-	346	-
7	Julho	-	-	-	-	1.627	-	-	-	-
8	Agosto	-	-	-	-	3.319	-	-	-	-
9	Setembro	-	-	-	-	5.175	-	-	-	-
10	Outubro	-	-	-	59	6.572	-	302	57	-
11	Novembro	-	-	12	117	-	-	-	346	-
12	Dezembro	265	481	603	381	-	-	-	1.216	-

Continuação

N°	PCH	J	K	L	M	N	O	P	Q	Total
----	-----	---	---	---	---	---	---	---	---	-------

1	Janeiro	-	35.602	39.731	23.136	-	-	4.949	4.710	120.443
2	Fevereiro	-	35.845	39.760	23.137	-	-	903	2.243	116.892
3	Março	-	35.845	39.760	23.137	-	-	495	785	116.647
4	Abril	-	34.470	38.466	22.420	-	-	-	-	104.897
5	Maio	-	4.852	5.351	3.691	-	-	-	-	17.328
6	Junho	-	-	-	-	845	-	-	-	1.940
7	Julho	-	-	-	-	3.148	-	-	-	4.775
8	Agosto	-	-	-	-	2.662	-	-	-	5.981
9	Setembro	-	-	-	-	5.068	-	-	-	10.243
10	Outubro	-	-	-	-	7.807	598	-	-	15.394
11	Novembro	-	-	-	-	-	-	-	-	476
12	Dezembro	-	8.420	9.342	5.948	-	-	3.851	3.215	33.722

Nota: elaboração própria.

5.2.2 Estimativa de residências eventualmente beneficiadas com a energia excedente obtida nas PCH analisadas

Para permitir uma avaliação real dos ganhos de energia obtidos, pode-se simular a aplicação da energia adicional, como por exemplo: a energia adicional obtida em cada usina poderia ser convertida em atendimento residencial. Considerando-se o consumo médio residencial registrado em março de 2007, conforme a Empresa de Estudos Energéticos (EPE, 2007), de 145 kWh/mês, pode-se converter a Tabela 5 de energia adicional do item 5.2.1 dividindo-se a energia obtida (mês a mês) pelo consumo médio registrado. O resultado está na Tabela 7 a seguir:

Tabela 7 – Quantidade de residências atendidas com a energia adicional apurada com a vazão excedente não turbinada da solução técnica original dos projetos

Nº	PCH	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Janeiro	8.671	11.124	6.592	3.568	-	19.124	-	10.854	-
2	Fevereiro	4.336	4.888	9.349	4.852	-	34.500	-	15.086	-
3	Março	-	-	11.327	5.708	-	45.408	-	17.202	1.253
4	Abril	-	-	8.630	4.424	-	19.701	-	13.676	-
5	Maio	-	-	4.974	2.997	-	-	-	8.739	-
6	Junho	-	-	240	856	2.550	-	-	1.686	-
7	Julho	-	-	-	-	7.915	-	-	-	-
8	Agosto	-	-	-	-	16.150	-	-	-	-
9	Setembro	-	-	-	-	25.181	-	-	-	-
10	Outubro	-	-	-	285	31.981	-	1.468	275	-
11	Novembro	-	-	60	571	-	-	-	1.686	-
12	Dezembro	1.289	2.339	2.937	1.855	-	-	-	5.917	-

Continuação

Nº	PCH	J	K	L	M	N	O	P	Q	TOTAL
----	-----	---	---	---	---	---	---	---	---	-------

1	Janeiro	-	173.244	193.338	112.585	-	-	24.081	22.918	586.100
2	Fevereiro	-	174.428	193.481	112.500	-	-	4.395	10.913	568.729
3	Março	-	174.428	193.481	112.500	-	-	2.411	3.820	567.538
4	Abril	-	167.737	187.183	109.100	-	-	-	-	510.450
5	Maio	-	23.609	26.041	17.960	-	-	-	-	84.320
6	Junho	-	-	-	-	4.110	-	-	-	9.442
7	Julho	-	-	-	-	15.321	-	-	-	23.236
8	Agosto	-	-	-	-	12.954	-	-	-	29.104
9	Setembro	-	-	-	-	24.663	-	-	-	49.844
10	Outubro	-	-	-	-	37.991	2.910	-	-	74.911
11	Novembro	-	-	-	-	-	-	-	-	2.316
12	Dezembro	-	40.973	45.460	28.945	-	-	18.740	15.643	164.098

Fonte: elaboração própria.

Com apenas 17 projetos analisados, pode-se constatar a abrangência de residências atendidas. É importante ressaltar que se trata de otimizações de projetos existentes, construídos ou não, aproveitando-se do excedente de vazão e sem alterar o local ou mesmo o projeto de construção, mantendo-se as mesmas características, sobretudo do projeto ambiental. Os custos de adaptação ficarão por conta dos equipamentos e poucos ajustes na construção civil, mas isso adiaria a construção de novos empreendimentos para atender a demanda destas residências.

CAPÍTULO 6 – INVESTIMENTOS NECESSÁRIOS À ADEQUAÇÃO DAS PCH À NOVA POTÊNCIA SUGERIDA PELOS ESTUDOS DE GANHO DE ENERGIA

Como o trabalho busca avaliar e medir ganhos decorrentes de uma melhor eficiência técnica das PCH, também se faz necessária uma avaliação do impacto sobre os custos de implantação e de adequação das usinas aos novos parâmetros da energia obtida nas simulações.

Nesta seção, serão analisados os custos de investimentos impostos para atendimento a potências equivalentes às energias adicionais de cada PCH estudada. Antes, porém, é necessária uma exposição sobre os custos de implantação de uma PCH.

6.1 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E DE CONSTRUÇÃO

Os custos de implantação que o empreendedor deve suportar, antes da construção, para obter a autorização de exploração da PCH incluem:

a) estudos de inventário hidrelétrico, compreendendo desde a solicitação de registro a Aneel, elaboração e entrega dos estudos a esta agência e acompanhamento até a obtenção, ou não, da aprovação dos estudos;

b) estudos de projetos básicos, que consiste na fase seguinte à aprovação dos estudos de inventário e compreende a elaboração e entrega, a Aneel, do projeto básico da PCH, no qual são definidas as características técnicas e produtivas da usina, a preparação do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), a compra das terras que serão afetadas pelo empreendimento, o acompanhamento junto a Aneel até a obtenção da outorga de autorização para exploração da PCH.

Os custos de construção que o empreendedor, já de posse da outorga de autorização da PCH, deve arcar para a construção efetiva da PCH incluem:

a) contratação de uma empresa de engenharia, especializada em projetos de PCH, para elaboração do projeto executivo da usina. Nesse escopo, estão inclusos

os projetos de construção civil e toda a interligação elétrica e mecânica da usina. Em alguns casos, o empreendedor amplia o escopo da empresa de engenharia com atividades de gerenciamento da obra e fiscalização na obra e nas fábricas dos fornecedores de equipamentos;

b) compra das turbinas, geradores, comportas, condutos forçados, condutos de adução, ponte rolante, *stop-logs*, grades, transformadores e etc., enfim, todos os equipamentos elétricos e mecânicos especificados no projeto básico da PCH;

c) contratação de uma empresa de construção civil, preferencialmente especializada em usinas hidrelétricas, para execução das obras civis da usina;

d) contratação de uma empresa para montagem dos equipamentos de geração de energia da usina, e;

e) contratação de uma empresa de comissionamento (partida da usina) para realizar e gerenciar os testes de todos os equipamentos elétricos e mecânicos na fase de preparação da usina para entrada em operação comercial.

A fase de construção permite ao empreendedor escolher diferentes formas de contratação, sendo que as mais aplicadas são: independente, pacote de equipamentos e *engineering, procurement & construction* (EPC).

a) Independente – o empreendedor contrata a engenharia de projetos, construção civil, montagem, equipamentos mecânicos e elétricos buscando as melhores condições de preço e prazo diretamente com cada fabricante e/ou fornecedor. É certo que, ao escolher esta opção, o empreendedor poderá ter benefícios iniciais de preço. Entretanto, o empreendedor também está assumindo todos os riscos de interface técnica dos equipamentos, ou seja, fica sob sua responsabilidade a harmonização de operação de todos os equipamentos comprados de forma independente. Esta forma de contratação é muito atraente e desejável a empreendedores que possuem uma equipe técnica própria ou estejam dispostos a contratar uma empresa de engenharia especializada em usinas hidrelétricas para desempenhar as funções de gerenciador técnico.

b) Pacote de equipamentos – este sistema é muito aplicado quando o empreendedor decide separar, em dois grupos, o sistema de contratação da usina, ou seja, o pacote com todos os equipamentos e pacote com toda a obra civil. O pacote de equipamentos compreende o fornecimento de todos os equipamentos mecânicos e elétricos de uma usina, reunidos em um único lote, sob a

responsabilidade de um único fornecedor, conforme a Figura 14 abaixo:

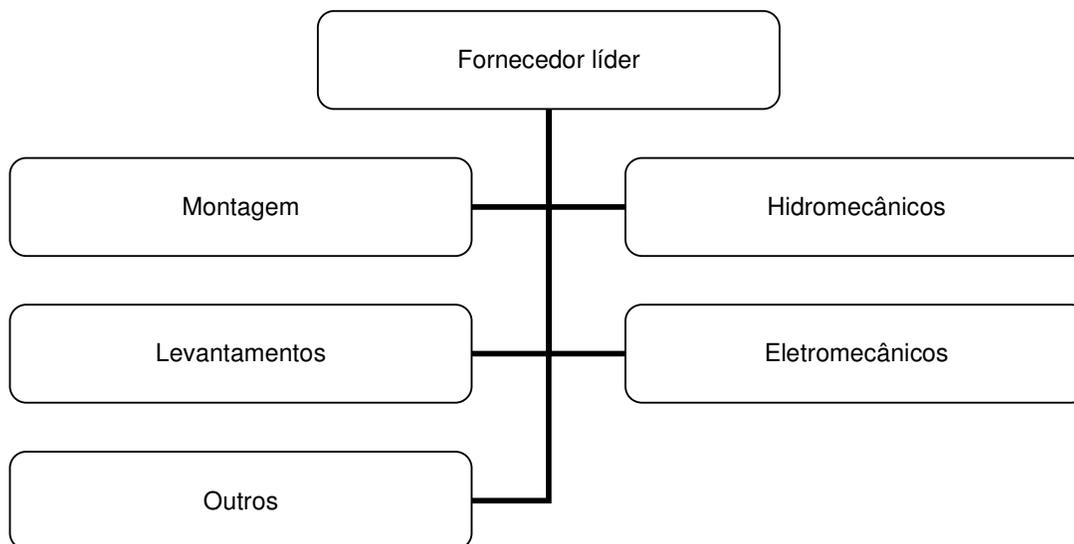


Figura 14 – Esquema de compra de equipamentos mecânicos e elétricos na forma de pacote
Fonte: Miranda (2007).

Esta forma de contratação fornece, ao empreendedor, um maior conforto com eventuais problemas na interface e a ampla garantia de operação dos equipamentos. Ao optar pelo pacote de equipamentos, o empreendedor terá apenas dois contratos para gerenciar: um de equipamentos e outro de construção civil. Neste caso, é comum que a empresa de engenharia fique sob a responsabilidade da construtora civil. Este sistema sugere a forma mais eficiente de contratação, pois o empreendedor não necessita de equipe própria de gestão técnica e o formato de garantias fica mais simples, uma vez que as responsabilidades estão mais claramente definidas e por empresas especializadas.

c) EPC – a tradução desta sigla corresponde à engenharia, compras e construção, sendo que esta forma de contratação significa que todo o fornecimento estará contratado sob a responsabilidade de um único fornecedor. É o sistema de contrato preferido, especialmente por fundos investidores e agentes financeiros, uma vez que a obtenção de garantias sólidas do líder da EPC garante a construção da usina. A forma de contrato por EPC tem a preferência de empreendedores focados em energia como um negócio, e que não tem, na construção, seu foco principal. Com isso, este tipo de empreendedor não possui staff próprio para gerenciar construção, delegando, em sua totalidade, ao líder de EPC. A Figura 15 abaixo

ilustra o que vem a ser uma formação de EPC (informação verbal):

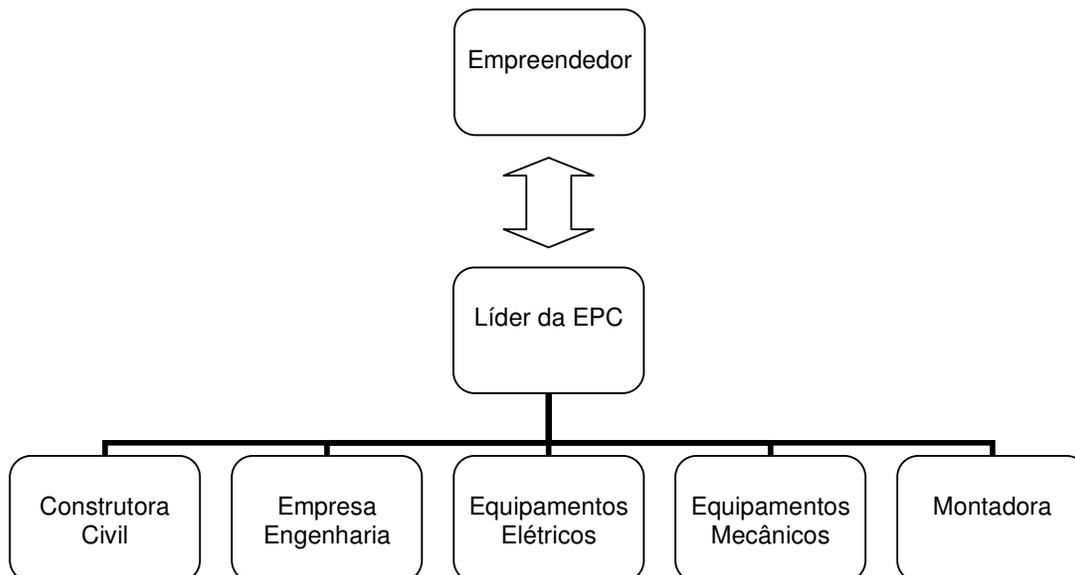


Figura 15 – Esquema de compra de obras e equipamentos na forma de EPC

É predominante, ao nível de mercado, que a liderança da EPC seja executada por uma construtora de obras civis.

6.2 COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO

Uma usina hidrelétrica tem seus custos de construção divididos em quatro blocos: serviços de engenharia, serviços de montagem, equipamentos mecânicos e elétricos e obra civil. A dificuldade de obter valores de contratos é muito grande, já que são tratados com muita reserva por parte de investidores. Uma pesquisa realizada com vários projetos de usinas estabeleceu a seguinte composição de custos para construção de uma PCH (informação verbal)⁷:

⁷ Notícia fornecida por Roberto Lobo Miranda na Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP), em São Paulo, em março de 2007.

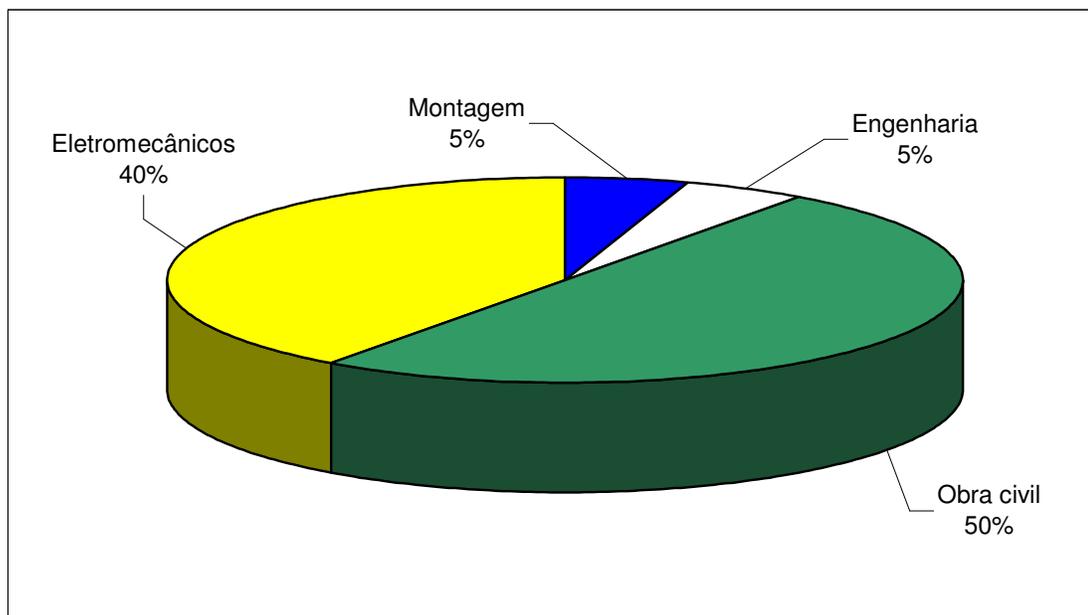


Figura 16 – Composição percentual do custo de PCH – Famílias Francis & Pelton (média e alta queda)

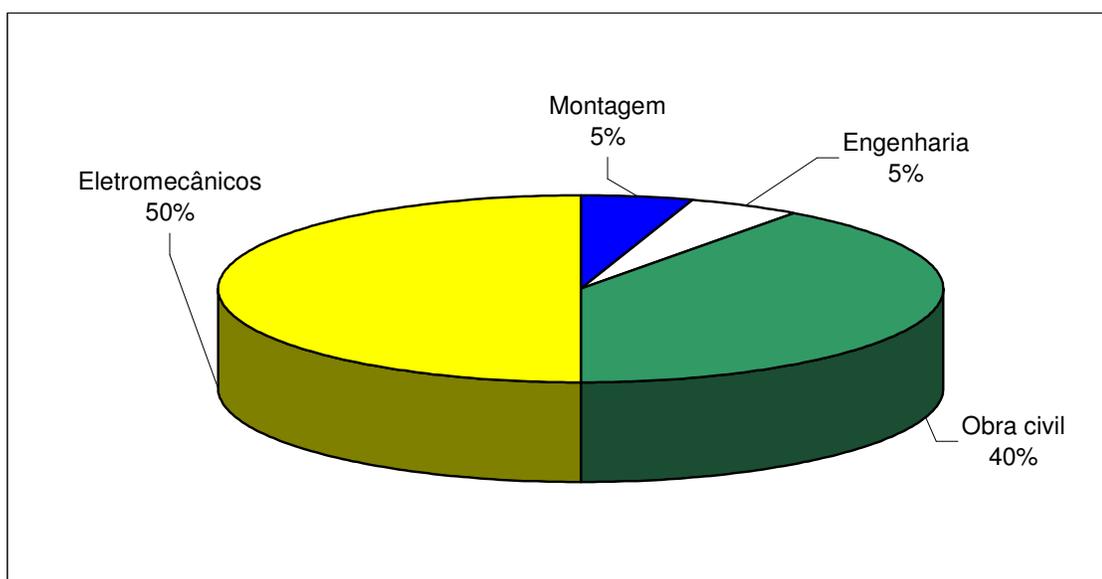


Figura 17 – Composição percentual do custo de PCH – Família Kaplan (baixa queda)

Esta comparação de custos pode apresentar algumas variações decorrentes de características próprias de construção da usina, tais como: geologia, dificuldades com logísticas de materiais, alocação de mão-de-obra, entre outras. Entretanto, os parâmetros informados orientam a elaboração de bancos de dados para estabelecer custos aproximados de uma usina com características de PCH.

6.3 CUSTO MÉDIO DE IMPLANTAÇÃO DE PCH

O custo médio para implantação e construção de uma usina com características de PCH pode variar em decorrência de fatores como: local da usina e seus impactos ambientais; geologia, que define o tipo de construção civil e barragem; a hidrologia do rio, que pode exigir a existência de vertedouros controlados por comportas; a distância até consumidores ou até a conexão com a linha de transmissão para o transporte da energia produzida; e a queda d'água, que define o arranjo técnico da usina com o tipo de turbina mais apropriado.

Para o desenvolvimento deste trabalho, como a Petróleo Brasileiro S/A (PETROBRAS) apresentou o valor de R\$ 4.200,00/kW⁸ e a Associação Brasileira dos Pequenos e Médios Produtores de Energia Elétrica (APMPE) apresentou R\$ 5.000,00/kW instalado⁹, foi adotada a média aritmética entre os dois valores, que resultou em R\$ 4.600,00 por kW instalado de implantação de uma PCH para determinação das estimativas de construção. Desmembra-se o custo em etapa de implantação (que compreende desde a fase inicial de inventário até que a documentação e o projeto permitam o efetivo início das obras) e em etapa de construção (que abrange desde a fase do início das obras até a entrada em operação comercial da PCH). Aos custos de implantação¹⁰, atribuem-se 10% e, aos custos de construção, o valor equivalente a 90% do custo total de implantação. Assim, tem-se os valores de R\$ 460,00/kW e R\$ 4.140,00/kW, respectivamente, para os custos de implantação e de construção.

Com o auxílio dos dados apresentados na seção 6.2, tem-se as indicações de custos itemizados para uma usina PCH. Para a concepção técnica com turbinas das famílias Pelton e Francis, observou-se que os custos com engenharia e montagem dos equipamentos representam, cada um, 5%, ou seja, R\$ 207,00/kW. Já os equipamentos mecânicos e elétricos representam 40% (R\$ 1.656,00/kW) e o restante dos custos da obra civil em 50% (R\$ 2.070,00/kW). No caso de concepção

⁸ Notícia fornecida por Cláudio Wilson Nóbrega na 3ª Conferência de PCH, Mercado & Meio Ambiente, em São Paulo, em outubro de 2007.

⁹ Notícia fornecida por Ricardo Pigatto na 3ª Conferência de PCH, Mercado & Meio Ambiente, em São Paulo, em outubro de 2007.

¹⁰ A noção de custos de implantação foi obtida pelo autor diretamente com investidores em projetos de PCH.

técnica com turbinas da família Kaplan, tem-se R\$ 207,00/kW para a engenharia e a montagem dos equipamentos, enquanto que, para os equipamentos e as obras civis, os valores ficam invertidos em relação às famílias Pelton e Francis, ou seja, os equipamentos com R\$ 2.070,00/kW e as obras civis com R\$ 1.656,00/kW. Esses valores serão utilizados para avaliar os custos adicionais de cada PCH pesquisada nesta dissertação.

6.4 CUSTOS ADICIONAIS

Na seção 5.2.1, foi apresentada a Tabela 5 com as energias adicionais obtidas nas avaliações dos 17 projetos de PCH analisados, além da Tabela 6, que apresenta qual a potência equivalente que é necessária a fim de elevar a PCH para sustentar a produção de energia. Para dimensionar os equipamentos elétricos e mecânicos necessários das PCH estudadas, torna-se necessário um redimensionamento técnico e o respectivo ajuste de custo.

Nesse sentido, será apresentado o custo que cada PCH investigada demandará para se repotenciar no nível exigido ao novo patamar de geração de energia. Antes, porém, algumas considerações são necessárias: não se considera o aumento de custo para os serviços de engenharia, montagem e obra civil, uma vez que a proposta do autor modifica somente os equipamentos de geração; os equipamentos de geração devem ser totalmente adequados na nova potência da usina; considerando-se que todas as PCH pesquisadas foram concebidas pelo autor com projeto com uma ou duas unidades geradoras tipo Kaplan, o custo incremental para os equipamentos será de R\$ 2.070,00/kW para processar a adequação dos equipamentos; o custo adicional de cada usina é estudado para o mês em que se registra a maior potência demandada; e o preço da energia é de R\$ 134,99/MWh, de acordo com o leilão de fontes renováveis para PCH, informado pela EPE (2007)¹¹. Feitas estas considerações iniciais, o resultado dos custos adicionais dos 17 projetos é apresentado na Tabela 8 a seguir:

¹¹ A TIR dos projetos não foi calculada porque está fora do foco técnico desta dissertação. Todavia, a Tabela 8 apresenta um valor de *payback* como um número para orientação.

Tabela 8 – Custo e receita adicionais por PCH para adequação da usina à nova potência nominal

	Custo adicional decorrente da potência incremental					
	A	B	C	D	E	F
1 Janeiro	1.782,00	2.286,00	-	-	-	-
2 Fevereiro	-	-	-	-	-	-
3 Março	-	-	2.328,00	1.173,00	-	9.331,00
4 Abril	-	-	-	-	-	-
5 Maio	-	-	-	-	-	-
6 Junho	-	-	-	-	-	-
7 Julho	-	-	-	-	-	-
8 Agosto	-	-	-	-	-	-
9 Setembro	-	-	-	-	-	-
10 Outubro	-	-	-	-	6.572,00	-
11 Novembro	-	-	-	-	-	-
12 Dezembro	-	-	-	-	-	-
Potência adicional	1.782,00	2.286,00	2.328,00	1.173,00	6.572,00	9.331,00
R\$ por kW adotado para equipamentos	2.070,00	2.070,00	2.070,00	2.070,00	2.070,00	2.070,00
Custo adicional por PCH em R\$	3.688.740,00	4.732.020,00	4.818.960,00	2.428.110,00	13.604.040,00	19.315.170,00
Potência original da PCH em kW	8.000,00	10.000,00	21.880,00	9.900,00	16.740,00	20.000,00
Custo total da PCH (adotando R\$ 4.600,00 por KW instalado)	36.800.000,00	46.000.000,00	100.648.000,00	45.540.000,00	77.004.000,00	92.000.000,00
% Adicional em relação ao investimento total do projeto original	10,02	10,29	4,79	5,33	17,67	20,99
Total energia adicional gerada em kWh	2.072.872,00	2.660.934,00	6.395.651,00	3.641.917,00	12.147.555,00	17.216.307,00
Receita anual pela energia adicional (em Reais)	279.816,99	359.199,48	863.348,93	491.622,38	1.639.798,45	2.324.029,28
Payback ¹² (anos)	13,2	13,2	5,6	4,9	8,3	8,3

Continuação

¹² O *payback* está calculado para fornecer uma referência financeira, uma vez que o este indicador não é o objetivo principal deste trabalho.

Custo adicional decorrente da potencial incremental

	PCH	G	H	I	J	K	L
1	Janeiro	-	-	-	-	-	-
2	Fevereiro	-	-	-	-	35.845,00	39.760,00
3	Março	-	3.535,00	258,00	-	-	-
4	Abril	-	-	-	-	-	-
5	Maiο	-	-	-	-	-	-
6	Junho	-	-	-	-	-	-
7	Julho	-	-	-	-	-	-
8	Agosto	-	-	-	-	-	-
9	Setembro	-	-	-	-	-	-
10	Outubro	302,00	-	-	-	-	-
11	Novembro	-	-	-	-	-	-
12	Dezembro	-	-	-	-	-	-
	Potência adicional	302,00	3.535,00	258,00	0,00	35.845,00	39.760,00
	R\$ por kW adotado para equipamentos	2.070,00	2.070,00	2.070,00	2.070,00	2.070,00	2.070,00
	Custo adicional por PCH em R\$	625.140,00	7.317.450,00	534.060,00	-	74.199.150,00	82.303.200,00
	Potência original da PCH em kW	14.650,00	30.000,00	16.140,00	-	27.000,00	30.000,00
	Custo total da PCH (adotando R\$ 4.600,00 por kW instalado)	67.390.000,00	138.000.000,00	74.244.000,00	-	124.200.000,00	138.000.000,00
	% Adicional em relação ao investimento total do projeto original	0,93	5,30	0,72	-	59,74	59,64
	Total energia adicional gerada em kWh	212.920,00	10.892.506,00	181.713,00	-	109.390.911,00	121.652.853,00
	Receita anual pela energia adicional (em Reais)	28.742,07	1.470.379,38	24.529,44	-	14.766.679,08	16.421.918,63
	Payback	21,7	4,9	21,8	-	5,0	5,0
	Continuação						

Custo adicional decorrente da potencial incremental

PCH		M	N	O	P	Q
1	Janeiro	-	-	-	4.949,00	4.710,00
2	Fevereiro	23.137,00	-	-	-	-
3	Março	-	-	-	-	-
4	Abril	-	-	-	-	-
5	Maior	-	-	-	-	-
6	Junho	-	-	-	-	-
7	Julho	-	-	-	-	-
8	Agosto	-	-	-	-	-
9	Setembro	-	-	-	-	-
10	Outubro	-	7.807,00	598,00	-	-
11	Novembro	-	-	-	-	-
12	Dezembro	-	-	-	-	-
	Potência adicional	23.137,00	7.807,00	598,00	4.949,00	4.710,00
	R\$ por kW adotado para equipamentos	2.070,00	2.070,00	2.070,00	2.070,00	2.070,00
	Custo adicional por PCH em R\$	47.893.590,00	16.160.490,00	1.237.860,00	10.244.430,00	9.749.700,00
	Potência original da PCH em kW	19.500,00	20.000,00	11.000,00	13.000,00	7.000,00
	Custo total da PCH (adotando R\$ 4.600,00 por kW instalado)	89.700.000,00	92.000.000,00	50.600.000,00	59.800.000,00	32.200.000,00
	% Adicional em relação ao investimento total do projeto original	53,39	17,57	2,45	17,13	30,28
	Total energia adicional gerada em kWh	71.596.581,00	13.780.748,00	421.988,00	7.196.040,00	7.727.652,00
	Receita anual pela energia adicional (em Reais)	9.664.822,47	1.860.263,17	56.964,16	971.393,44	1.043.155,74
	Payback	4,9	8,7	21,7	10,5	9,3

Nota: elaboração própria.

A viabilidade econômica do novo nível de potência proposta para as usinas certamente poderá levantar questões, uma vez que os parâmetros financeiros estão contextualizados e vinculados ao momento de concepção do projeto. Uma eventual inviabilidade econômica poderia sugerir que no projeto técnico da usina permitisse uma ampliação da potência e da respectiva energia a qualquer tempo, como uma simples provisão técnica para colocação de novas máquinas.

CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como motivação aumentar a produção de energia elétrica, tomando como ponto de partida um maior rigor técnico na escolha de turbinas hidráulicas do tipo Kaplan.

Descreveu-se o que são usinas hidrelétricas, seus principais componentes e sua forma de construção. Explicou-se a diferença aplicada no Brasil para pequenas e grandes centrais hidrelétricas. Mostrou-se que a matriz de produção de energia elétrica brasileira se apóia na hidroeletricidade e, com isso, o ciclo período úmido-período seco, por meio da curva de permanência, influencia diretamente na produção de energia e na decisão do potencial da usina. Explicou-se, também, o conceito de usina com reservatório e à fio d'água.

Foram abordadas as principais famílias de classificação de turbinas hidráulicas – Pelton, Francis e Kaplan –, e suas respectivas evoluções para o estado da arte atual. Mostrou-se a performance técnica de cada tipo de turbina quando submetidas às variações de vazões e de quedas e a melhor resposta dada pela turbina da família Kaplan.

As tecnologias de geração com turbinas tipo Pelton, Francis e Kaplan são maduras e totalmente disponíveis para produção no Brasil. As pesquisas de desenvolvimento tecnológico vêm ampliando a faixa de aplicação dessas máquinas. Os projetos de engenharia, elaborados para atendimento às exigências da Aneel, pouco se aproveitam dessas evoluções.

Viu-se que a turbina do tipo Kaplan é uma máquina reconhecida pela alta versatilidade técnica. Ela é capaz de permitir variações de queda d'água e de vazão de água e, ainda assim, manter alta performance de rendimento. Esses fatores a diferenciaram das turbinas do tipo Pelton e Francis. Inicialmente, as turbinas Kaplan atendiam às quedas muito baixas. As pesquisas de consagrados fabricantes permitiram que a aplicação dessas máquinas pudesse atingir até 80 metros de queda d'água. Este avanço da turbina Kaplan, associado à sua grande versatilidade operacional, deveria receber prioridade nas aplicações técnicas nos projetos de engenharia de usinas hidrelétricas.

Conduziram-se as discussões para o ambiente das PCH, que são usinas de 1.000 a 30.000KW, bem como para baixas quedas, em que as turbinas Kaplan são aplicáveis. Incluíram-se, na exposição, noções de formação da queda d'água a partir da definição de níveis de montante e de jusante das usinas.

A metodologia desta proposta consistiu em identificar as vazões médias mensais que não seriam capturadas para produção de energia. Para isso, foram selecionados 17 projetos de PCH para aplicação da metodologia. Com base nas respectivas fichas técnicas dos projetos em estudo, alterou-se o arranjo inicial das usinas para uma ou duas unidades geradoras, buscando turbinar o maior volume d'água.

Alguns projetos se mostraram com possibilidades de elevar sua produção de energia. A partir desse diferencial de energia, calculou-se a respectiva potência adicional que a usina deveria ser elevada. Este acréscimo de potência orientou as bases do estudo econômico de custo adicional a que a PCH poderia ser aumentada, sempre para sustentar o ganho de energia calculado.

Descreeveram-se os principais blocos que compõem a contratação de compra de uma usina hidrelétrica, como engenharia, obras civis de construção e equipamentos, além das formas de contratação independente, por pacotes de equipamentos ou na modalidade de EPC. Com base nos perfis das usinas de alta, média e baixa quedas, atribuíram-se custos médios de implantação e, com esses adicionais que poderiam ser aplicados, avaliaram-se os custos às usinas no caso de elevação da energia produzida.

Procurou-se, também, destacar que os custos absolutos de construção de usinas estão sempre contextualizados num cenário amplo de preço de energia, isto é, aquela energia que uma usina hidrelétrica deixa de produzir, por uma decisão de projeto de engenharia, poderá vir a ser viável em outro contexto econômico. Os projetos poderiam levar isso em conta no momento da escolha da vazão de água turbinada, pois, depois da usina construída, esse processo é sempre mais difícil.

As vazões excedentes, ou seja, aquelas vazões que não são turbinadas e sem aproveitamento energético, podem ser aproveitadas ou, pelo menos, devem ser pesquisadas soluções técnicas para o seu aproveitamento. O ambiente econômico atual não permite mais dispensar essas vazões com a aplicação de soluções técnicas clássicas.

A regulação técnica é deficiente quando se trata de tecnologia de geração. Não há sugestão e, tampouco, interferência no projeto que mantenha sob guarda de eventual expansão futura da usina hidrelétrica, que possa usufruir vazões que são vertidas e deixam de produzir energia na concepção original do projeto.

Os parâmetros de custos de investimentos estão sempre contextualizados num ambiente de curto prazo. Projetos de usinas hidrelétricas definidos neste ambiente podem levar a subaproveitamentos energéticos, uma vez que os preços de venda de energia são voláteis num contexto de livre concorrência.

As usinas hidrelétricas, como um bem público, deveriam ter seus projetos públicos e de livre acesso. Apenas dessa forma será possível uma avaliação técnica que permita sugestões técnicas mais avançadas e que forneça, ao projeto, melhores condições técnicas de produção de energia.

O objetivo desta dissertação foi criar argumentações que justifiquem e que questionem mais audácia e mais atualização técnica aos projetos de usinas hidrelétricas. Neste contexto, estão oferecidas dúvidas quanto aos procedimentos. Cabe agora buscar motivação nos agentes participantes da indústria de energia que estejam dispostos a melhorar, no que for possível, a qualidade técnica dos aproveitamentos hidrelétricos.

Esta dissertação comparou o excedente de energia elétrica obtida nos projetos estudados com possíveis residências atendidas. Este estudo teve por objetivo indicar um destino ao diferencial de energia, de forma prática. O consumo residencial médio no Brasil de 145kWh, citado nesta pesquisa, é um destino certo de energia que será consumida.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **BIG – Banco de informações de geração**: capacidade de geração do Brasil. Brasília, DF, [2007]. Disponível em: <www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>. Acesso em: 07 dez. 2007.

_____. **Ficha-resumo para estudos de viabilidade e projeto básico**. Brasília, DF, 2008. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=429>>. Acesso em: 26 jun. 2008.

_____. Resolução n. 169, de 03 de maio de 2001. Estabelece critérios para a utilização do Mecanismo de Realocação de Energia – MRE por centrais hidrelétricas não despachadas centralizadamente. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 20 jun. 2001. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bres2001169.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2007.

ALSTOM BRASIL. [**Turbinas hidráulicas**]. São Paulo, 2008.

BONSOR, Kevin. **Como funcionam as usinas hidrelétricas**. São Paulo: HSW Brasil, [2007 ou 2008]. Disponível em: <<http://ciencia.hsw.uol.com.br/usinas-hidreletricas1.htm>>. Acesso em: 07 maio 2008.

BRASIL. Lei n. 9.648, de 27 de maio de 1998. Altera dispositivos das Leis n. 3.890-A, de 25 de abril de 1961, n. 8.666, de 21 de junho de 1993, n. 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, n. 9.074, de 7 de julho de 1995, n. 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e autoriza o Poder Executivo a promover a reestruturação das Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRÁS e de suas subsidiárias e dá outras providências. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 28 maio 1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9648cons.htm>. Acesso em: 15 abr. 2008.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS (CERPCH). **Acabou a era das usinas com grandes reservatórios**. Itajubá, 2006. Disponível em: <<http://www.cerpch.unifei.edu.br/Adm/print.php?id=654>>. Acesso em: 10 abr. 2007.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA (CNPE). Resolução n. 1, de 17 de novembro de 2004. Define o critério geral de garantia de suprimento aplicável aos estudos de expansão da oferta e do planejamento da operação do sistema

elétrico interligado, bem como ao cálculo das garantias físicas de energia e potência de um empreendimento de geração de energia elétrica. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 18 nov. 2004. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/download.do?attachmentId=15482&download>>. Acesso em: 26 jun. 2008.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS (EPE). 1º Leilão de energia de fontes alternativas agrega 638,64 MW ao SIN. **Informe à Imprensa**, Rio de Janeiro, 18 jun. 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20070618_1.pdf>. Acesso em: 05 set. 2007.

_____. Consumo de energia elétrica cresce 8,2% em maio, mantendo tendência de recuperação: classes residencial e comercial permanecem na liderança do mercado. **Informe à Imprensa**, Rio de Janeiro, 23 jul. 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20070723_1.pdf>. Acesso em: 14 set. 2007.

_____. Plano nacional de energia – PNE 2030. **Informe à Imprensa**, Rio de Janeiro, 26 jun. 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20070626_2.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2007.

ERBER, Pietro. Pietro Erber, do INEE: nem apagão nem tarifão. **Agência CanalEnergia**, Rio de Janeiro, 29 nov. 2006. Newsletter Diária. Disponível em: <<http://www.canalenergia.com.br/zpublisher/materias/newsletter.asp?id=56869>>. Acesso em: 14 set. 2007.

ERSA ENERGIAS RENOVÁVEIS. **PCH Plano Alto**. [São Paulo], 2008.

G1. Petróleo segue próximo de US\$ 90 por barril: mercado avaliou que ajuda a mutuários dos EUA pode elevar demanda pelo produto. Preços tiveram forte alta na quinta-feira. **G1**, [Rio de Janeiro], 07 dez. 2007. Economia e Negócios. Disponível em: <http://g1.globo.com/Noticias/Economia_Negocios/0,,MUL208658-9356,00-PETROLEO+SEGUE+PROXIMO+DE+US+POR+BARRIL.html>. Acesso em: 07 dez. 2007.

GUIMARÃES, Hélio Manoel Rosa. **MAN: Modelo de avaliação de negócios**. Salvador, 2005.

KÜUFFNER, Georg (Ed.). **The power of water**. München: Voith AG, 2006.

MARQUES, Gil da Costa. **Turbina Pelton**. [São Paulo]: Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada, [1999]. Disponível em: <<http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo2B/Hidraulica/turbina3.htm>>. Acesso em: 14 out. 2007.

MELLO, Antônio. **Tipos de turbinas hidráulicas aplicadas às pequenas, mini e microcentrais hidráulicas**. [São Paulo]: Mackenzie, [entre 1998 e 2008]. Disponível em: <<http://meusite.mackenzie.com.br/mellojr/>>. Acesso em: 18 maio 2008.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Plano decenal de expansão do setor de energia elétrica 2006-2015**. Brasília, DF: MME:EPE, [2005 ou 2006]. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PDEE/20060702_02.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2006.

_____. **Plano nacional de energia 2030**: geração hidrelétrica. Brasília, DF: MME:EPE, 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_3.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2007.

_____. **Plano nacional de energia 2030**: cenários macroeconômicos. Brasília, DF: MME:EPE, 2006a. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20070625_2.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2007.

_____. **Plano nacional de energia 2030**: eficiência energética. Brasília, DF: MME:EPE, 2006b. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20070625_7.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2007.

_____. **Plano nacional de energia 2030**: estratégia para expansão da oferta. Brasília, DF: MME:EPE, 2006c. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20070625_1.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2007.

_____. **Termo de referência**: plano nacional de energia 2030 PNE 2030. Brasília, DF: MME:EPE, 2005. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/download.do;jsessionid=738C1E1786B4208D6416A44F35ABE59C?attachmentId=6232&download>>. Acesso em: 22 nov. 2007.

PEREIRA, Renée. Risco de apagão assombra o País: pesquisa da UFRJ mostra que 60% das entidades do setor acreditam em nova crise até 2010. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 28 ago. 2006. Economia & Negócios. Disponível em: <<http://www.estado.com.br/editorias/2006/08/28/eco-1.93.4.20060828.27.1.xml>>. Acesso em: 10 fev. 2007.

RAMOS, Helena. Small hydraulic turbines. In: _____ (Ed.). **Guidelines for design of small hidropower plants**. Belfast: West Regional Energy Agency & Network, 2000. p. 79-100.

SUGAI, Helio Mitsuo; SANTOS JÚNIOR, Milton Francisco dos. As pequenas centrais hidrelétricas e os créditos de carbono. **PCH Notícias & SHP News**, Itajubá, ano 8, n. 29, p. 10-15, mar./abr./maio 2006. Disponível em: <<http://www.cerpch.unifei.edu.br/Adm/artigos/34686f48215d2ef62ec13a59cf25048a.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2008.

TIAGO FILHO, Geraldo Lúcio et al. Um panorama das pequenas centrais no Brasil. **PCH Notícias & SHP News**, Itajubá, ano 9, n. 33, p. 19-22, mar./abr./maio 2007. Disponível em: <<http://www.cerpch.unifei.edu.br/Adm/artigos/cafb336260fde61ef735194edff77b60.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2008.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno (Org.). **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

VIEIRA FILHO, Xisto. Xisto Vieira Filho, da Abraget: qual a base real para se dizer que a contratação de energia térmica é cara? **Agência CanalEnergia**, Rio de Janeiro, 17 out. 2006. Newsletter Diária. Disponível em: <<http://www.canalenergia.com.br/zpublisher/materias/newsletter.asp?id=56238#null>>. Acesso em: 15 dez. 2006.

VOITH SIEMENS HYDRO POWER GENERATION. [**Faixas de aplicação de turbinas Pelton, Kaplan e Francis**]. São Paulo, 2008.

APÊNDICE A – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH A

Projeto	PCH A
Queda d'água	34,41 m
Queda d'água no período úmido	28,41 m
Potência	8.000 kW
Vazão turbinada original	26,9 m3/s
Ficha de projeto	Agosto de 2002
Concepção original	2 turbinas Kaplan horizontal tipo S
Concepção proposta	1 turbina Kaplan horizontal tipo S

Quadro 3 – Resumo técnico da PCH A

Fonte: elaboração própria.

Tabela 9 – Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH A

Mês	VMM (m3/s)	1ª Turbina	2ª Turbina	1ª Turbina S	Excesso de água m3/s	Energia adicional kWh/mês	Potência equivalente kW	Famílias atendidas no mês
Janeiro	34,30	13,45	26,90	34,30	7,40	1.257.315,52	1.781,91	8.671,14
Fevereiro	30,60	13,45	26,90	34,30	3,70	628.657,76	890,95	4.335,57
Março	26,30	13,45	26,90	34,30	-0,60	-	-	-
Abril	19,60	13,45	26,90	34,30	-7,30	-	-	-
Mai	14,40	13,45	26,90	34,30	-12,50	-	-	-
Junho	11,70	13,45	26,90	34,30	-15,20	-	-	-
Julho	9,84	13,45	26,90	34,30	-17,06	-	-	-
Agosto	8,54	13,45	26,90	34,30	-18,36	-	-	-
Setembro	8,94	13,45	26,90	34,30	-17,96	-	-	-
Outubro	10,70	13,45	26,90	34,30	-16,20	-	-	-
Novembro	17,20	13,45	26,90	34,30	-9,70	-	-	-
Dezembro	28,00	13,45	26,90	34,30	1,10	186.898,25	264,88	1.288,95
Total de sobra de água m3/s		..	..	..	12,20	..	..	..
Excedente anual de energia		..	..	..	..	2.072.871,53	2.937,74	..

Nota: elaboração própria.

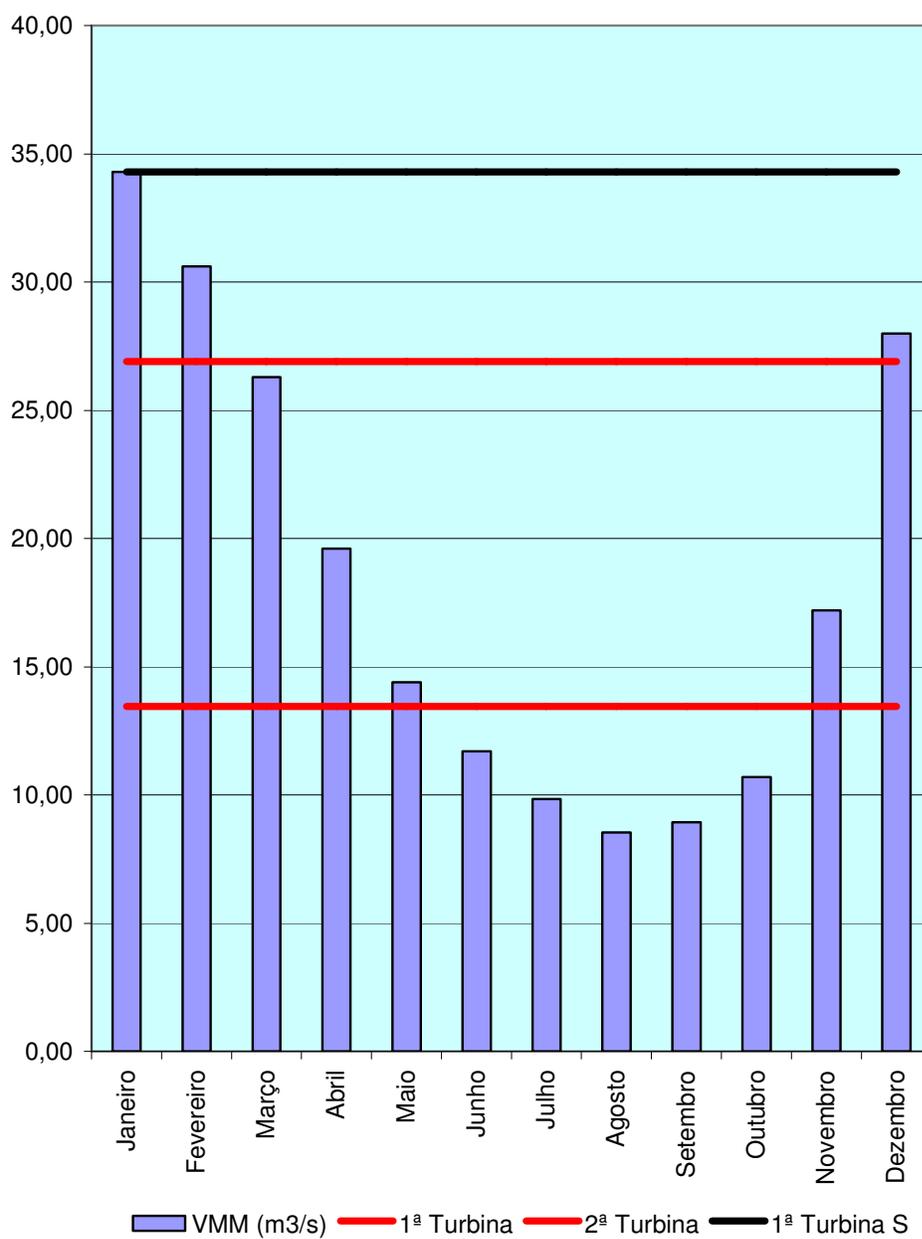


Figura 18 – Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH A

Nota: elaboração própria.

APÊNDICE B – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH B

Projeto	PCH B
Queda d'água	28,87 m
Queda d'água no período úmido	22,07 m
Potência	10.000 kW
Vazão turbinada original	40,10 m ³ /s
Ficha de projeto	Agosto de 2002
Concepção original	2 turbinas Kaplan horizontal tipo S
Concepção proposta	1 turbina Kaplan horizontal tipo S

Quadro 4 – Resumo técnico da PCH B

Nota: elaboração própria.

Tabela 10 – Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH B

Mês	VMM (m ³ /s)	1ª Turbina	2ª Turbina	1ª Turbina S	Excesso de água m ³ /s	Energia adicional kWh/mês	Potência equivalente kW	Famílias atendidas no mês
Janeiro	52,32	20,05	40,10	52,30	12,22	1.612.927,55	2.285,90	11.123,64
Fevereiro	45,47	20,05	40,10	52,30	5,37	708.790,59	1.004,52	4.888,21
Março	38,08	20,05	40,10	52,30	-2,02	-	-	-
Abril	28,91	20,05	40,10	52,30	-11,19	-	-	-
Mai	21,56	20,05	40,10	52,30	-18,54	-	-	-
Junho	17,84	20,05	40,10	52,30	-22,26	-	-	-
Julho	15,20	20,05	40,10	52,30	-24,90	-	-	-
Agosto	13,17	20,05	40,10	52,30	-26,93	-	-	-
Setembro	13,70	20,05	40,10	52,30	-26,40	-	-	-
Outubro	16,08	20,05	40,10	52,30	-24,02	-	-	-
Novembro	25,41	20,05	40,10	52,30	-14,69	-	-	-
Dezembro	42,67	20,05	40,10	52,30	2,57	339.216,35	480,75	2.339,42
Total de sobra de água m ³ /s		..	..	..	20,16	..	..	..
Excedente anual de energia		..	..	..	..	2.660.934,49	3.771,17	..

Nota: elaboração própria.

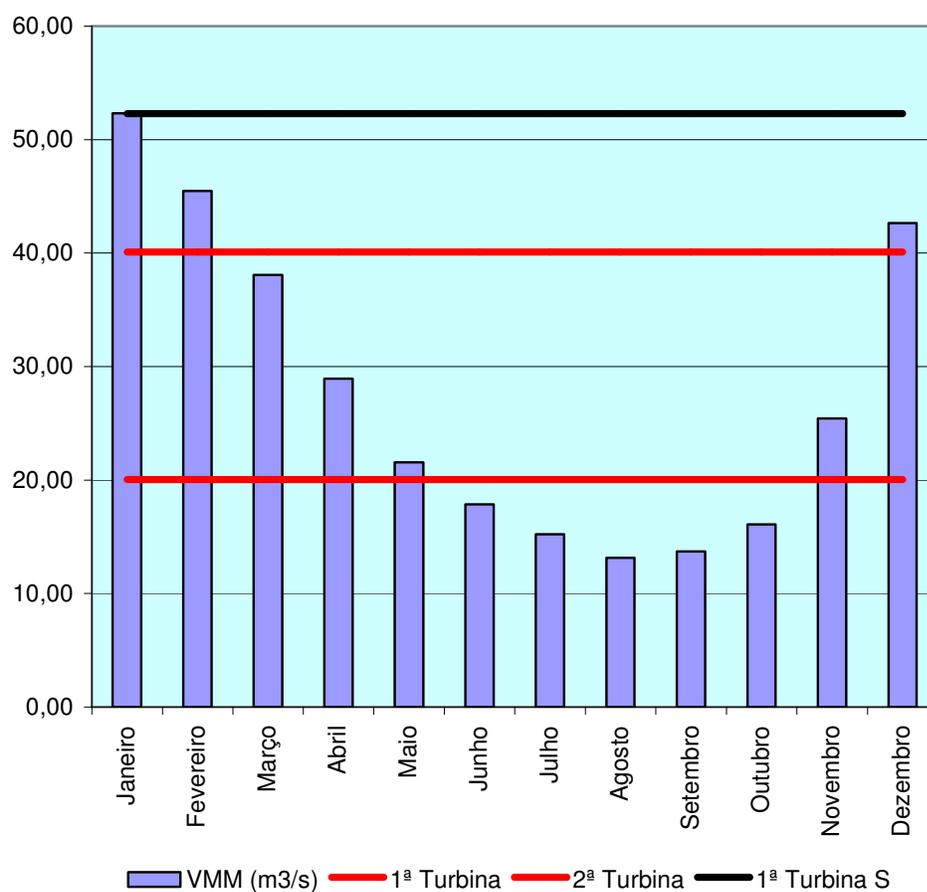


Figura 19 – Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH B

Fonte: elaboração própria.

APÊNDICE C – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH C

Projeto	PCH C
Queda d'água	14,73 m
Queda d'água no período úmido	14,53 m
Potência	21.880 kW
Vazão turbinada original	164 m3/s
Ficha de projeto	Setembro de 2003
Concepção original	4 turbinas Kaplan horizontal tipo S
Concepção proposta	2 turbinas Kaplan horizontal tipo S

Quadro 5 – Resumo técnico da PCH C

Fonte: elaboração própria.

Tabela 11 – Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH C

Mês	VMM (m3/s)	1ª Turbina	2ª Turbina	3ª Turbina	1ª Turbina S	2ª Turbina S	Excesso de água m3/s	Energia adicional kWh/mês	Potência equivalente kW	Famílias atendidas no mês
Janeiro	175,00	54,67	109,33	164,00	91,45	182,90	11,00	955.871,74	1.354,69	6.592,22
Fevereiro	179,60	54,67	109,33	164,00	91,45	182,90	15,60	1.355.599,92	1.921,20	9.348,96
Março	182,90	54,67	109,33	164,00	91,45	182,90	18,90	1.642.361,44	2.327,61	11.326,63
Abril	178,40	54,67	109,33	164,00	91,45	182,90	14,40	1.251.323,00	1.773,42	8.629,81
Mai	172,30	54,67	109,33	164,00	91,45	182,90	8,30	721.248,68	1.022,18	4.974,13
Junho	164,40	54,67	109,33	164,00	91,45	182,90	0,40	34.758,97	49,26	239,72
Julho	160,40	54,67	109,33	164,00	91,45	182,90	-	-	-	-
Agosto	158,60	54,67	109,33	164,00	91,45	182,90	-	-	-	-
Setembro	157,80	54,67	109,33	164,00	91,45	182,90	-	-	-	-
Outubro	162,10	54,67	109,33	164,00	91,45	182,90	-	-	-	-
Novembro	164,10	54,67	109,33	164,00	91,45	182,90	0,10	8.689,74	12,32	59,93
Dezembro	168,90	54,67	109,33	164,00	91,45	182,90	4,90	425.797,41	603,45	2.936,53
Total de sobra de água m3/s		..	..	..	..	..	73,60	..	..	..
Excedente anual de energia		..	..	..	..	..	..	6.395.650,91	9.064,13	..

Nota: elaboração própria.

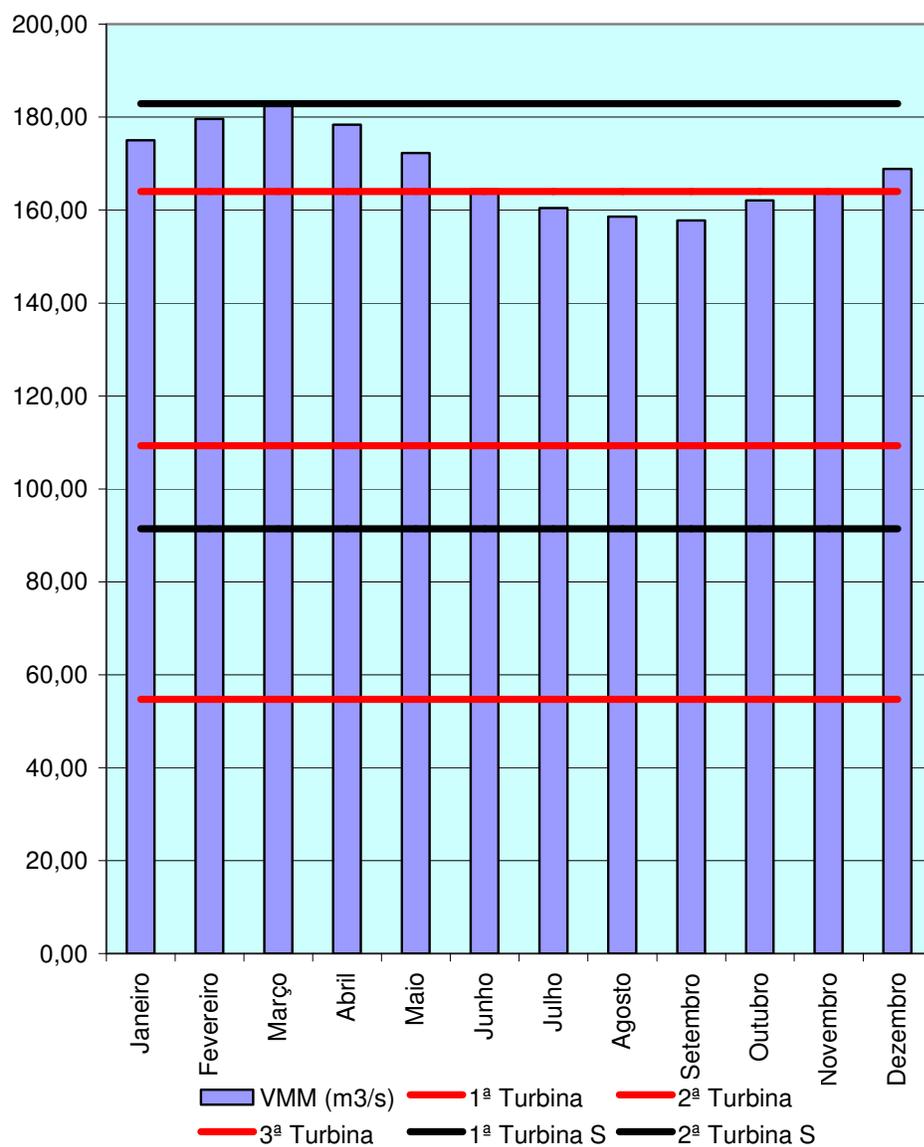


Figura 20 – Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH C

Nota: elaboração própria.

APÊNDICE D – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH D

Projeto	PCH D
Queda d'água	35,15 m
Queda d'água no período úmido	34,6 m
Potência	9.900 kW
Vazão turbinada original	30,9 m ³ /s
Ficha de projeto	Setembro de 2003
Concepção original	2 turbinas Francis horizontal Simples
Concepção proposta	1 turbina Kaplan horizontal tipo S

Quadro 6 – Resumo técnico da PCH D

Nota: elaboração própria.

Tabela 12 – Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH D

Mês	VMM (m ³ /s)	1ª Turbina	2ª Turbina	1ª Turbina S	Excesso de água m ³ /s	Energia adicional kWh/mês	Potência equivalente kW	Famílias atendidas no mês
Janeiro	33,40	15,45	30,90	34,90	2,50	517.317,81	733,16	3.567,71
Fevereiro	34,30	15,45	30,90	34,90	3,40	703.552,22	997,10	4.852,08
Março	34,90	15,45	30,90	34,90	4,00	827.708,49	1.173,06	5.708,33
Abril	34,00	15,45	30,90	34,90	3,10	641.474,08	909,12	4.423,96
Mai	33,00	15,45	30,90	34,90	2,10	434.546,96	615,85	2.996,88
Junho	31,50	15,45	30,90	34,90	0,60	124.156,27	175,96	856,25
Julho	30,70	15,45	30,90	34,90	-	-	-	-
Agosto	30,30	15,45	30,90	34,90	-	-	-	-
Setembro	30,10	15,45	30,90	34,90	-	-	-	-
Outubro	31,10	15,45	30,90	34,90	0,20	41.385,42	58,65	285,42
Novembro	31,30	15,45	30,90	34,90	0,40	82.770,85	117,31	570,83
Dezembro	32,20	15,45	30,90	34,90	1,30	269.005,26	381,24	1.855,21
Total de sobra de água m ³ /s	..	..	..	..	17,60	..	..	..
Excedente anual de energia	..	..	..	..	..	3.641.917,37	5.161,45	..

Nota: elaboração própria.

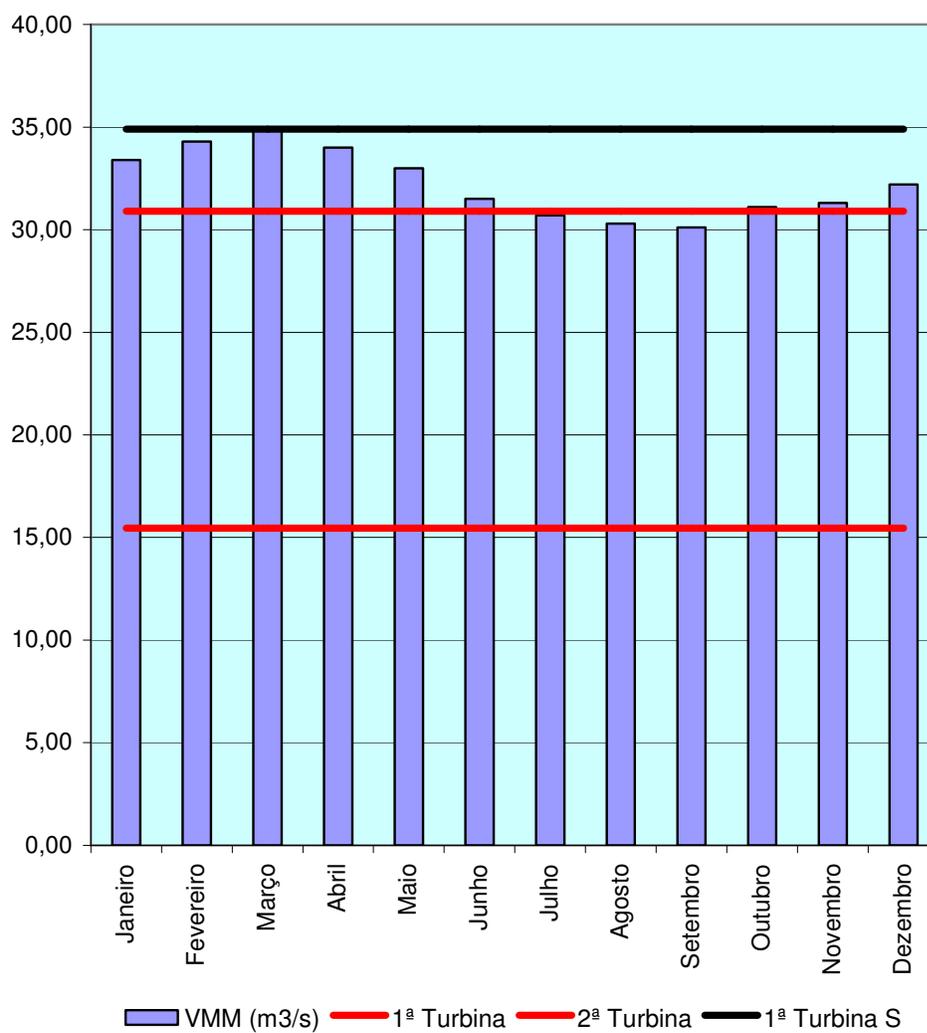


Figura 21 – Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH D

Nota: elaboração própria.

APÊNDICE E – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH E

Projeto	PCH E
Queda d'água	13,98 m
Queda d'água no período úmido	12,88 m
Potência	16.740 kW
Vazão turbinada original	131,1 m3/s
Ficha de projeto	Abril de 2003
Concepção original	3 turbinas Kaplan horizontal tipo S
Concepção proposta	2 turbinas Kaplan horizontal tipo POÇO

Quadro 7 – Resumo técnico da PCH E

Nota: elaboração própria.

Tabela 13 – Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH E

Mês	VMM (m3/s)	1ª Turbina	2ª Turbina	3ª Turbina	1ª Turbina POÇO	2ª Turbina POÇO	Excesso de água m3/s	Energia adicional kWh/mês	Potência equivalente kW	Famílias atendidas no mês
Janeiro	80,10	43,67	87,34	131,10	95,65	191,30	-	-	-	-
Fevereiro	112,90	43,67	87,34	131,10	95,65	191,30	-	-	-	-
Março	80,30	43,67	87,34	131,10	95,65	191,30	-	-	-	-
Abril	76,60	43,67	87,34	131,10	95,65	191,30	-	-	-	-
Mai	117,10	43,67	87,34	131,10	95,65	191,30	-	-	-	-
Junho	135,90	43,67	87,34	131,10	95,65	191,30	4,80	369.741,69	524,01	2.549,94
Julho	146,00	43,67	87,34	131,10	95,65	191,30	14,90	1.147.739,83	1.626,62	7.915,45
Agosto	161,50	43,67	87,34	131,10	95,65	191,30	30,40	2.341.697,37	3.318,73	16.149,64
Setembro	178,50	43,67	87,34	131,10	95,65	191,30	47,40	3.651.199,19	5.174,60	25.180,68
Outubro	191,30	43,67	87,34	131,10	95,65	191,30	60,20	4.637.177,03	6.571,96	31.980,53
Novembro	121,00	43,67	87,34	131,10	95,65	191,30	-	-	-	-
Dezembro	79,70	43,67	87,34	131,10	95,65	191,30	-	-	-	-
Total de sobra de água m3/s		..	..	..	..	..	157,70	..	..	..
Excedente anual de energia		..	..	..	..	..	..	12.147.555,12	17.215,92	..

Nota: elaboração própria.

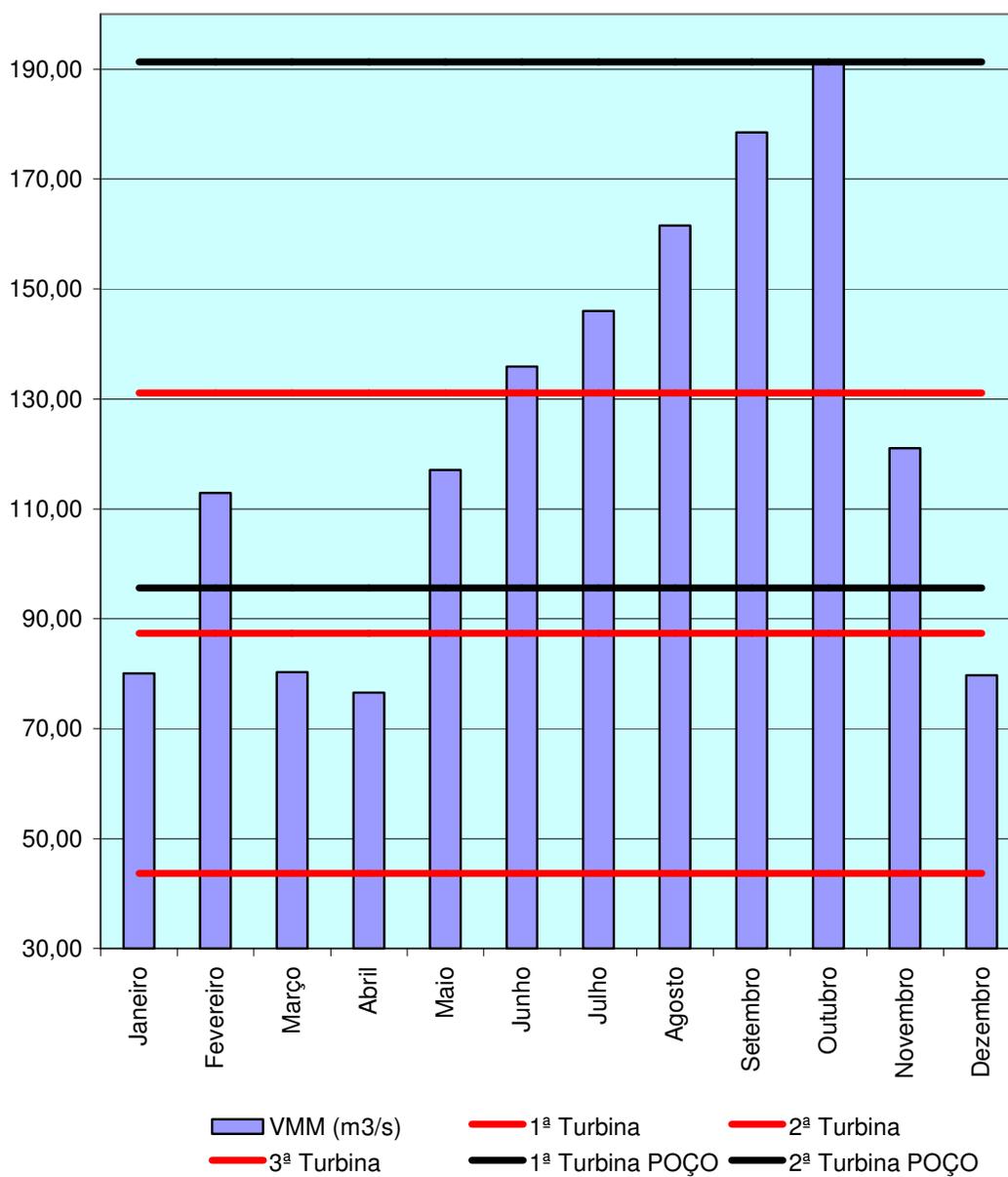


Figura 22 – Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH E

Nota: elaboração própria.

APÊNDICE F – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH F

Projeto	PCH F
Queda d'água	15,05 m
Queda d'água no período úmido	11,65 m
Potência	20.000 kW
Vazão turbinada original	146,60 m ³ /s
Ficha de projeto	Abril de 2005
Concepção original	2 turbinas Kaplan horizontal tipo S
Concepção proposta	2 turbinas Kaplan horizontal tipo POÇO

Quadro 8 – Resumo técnico da PCH F

Nota: elaboração própria.

Tabela 14 – Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH F

Mês	VMM (m ³ /s)	1ª Turbina	2ª Turbina	1ª Turbina POÇO	2ª Turbina POÇO	Excesso de água m ³ /s	Energia adicional kWh/mês	Potência equivalente kW	Famílias atendidas no mês
Janeiro	186,40	73,30	146,60	120,55	241,10	39,80	2.773.002,87	3.929,99	19.124,16
Fevereiro	218,40	73,30	146,60	120,55	241,10	71,80	5.002.552,92	7.089,79	34.500,36
Março	241,10	73,30	146,60	120,55	241,10	94,50	6.584.139,99	9.331,26	45.407,86
Abril	187,60	73,30	146,60	120,55	241,10	41,00	2.856.611,00	4.048,48	19.700,77
Mai	111,50	73,30	146,60	120,55	241,10	-35,10	-	-	-
Junho	67,90	73,30	146,60	120,55	241,10	-78,70	-	-	-
Julho	49,10	73,30	146,60	120,55	241,10	-97,50	-	-	-
Agosto	40,30	73,30	146,60	120,55	241,10	-106,30	-	-	-
Setembro	36,90	73,30	146,60	120,55	241,10	-109,70	-	-	-
Outubro	62,10	73,30	146,60	120,55	241,10	-84,50	-	-	-
Novembro	79,30	73,30	146,60	120,55	241,10	-67,30	-	-	-
Dezembro	121,90	73,30	146,60	120,55	241,10	-24,70	-	-	-
Total de sobra de água m ³ /s		..	..	..	..	247,10	..	..	..
Excedente anual de energia		..	..	..	..	..	17.216.306,78	24.399,53	..

Nota: elaboração própria.

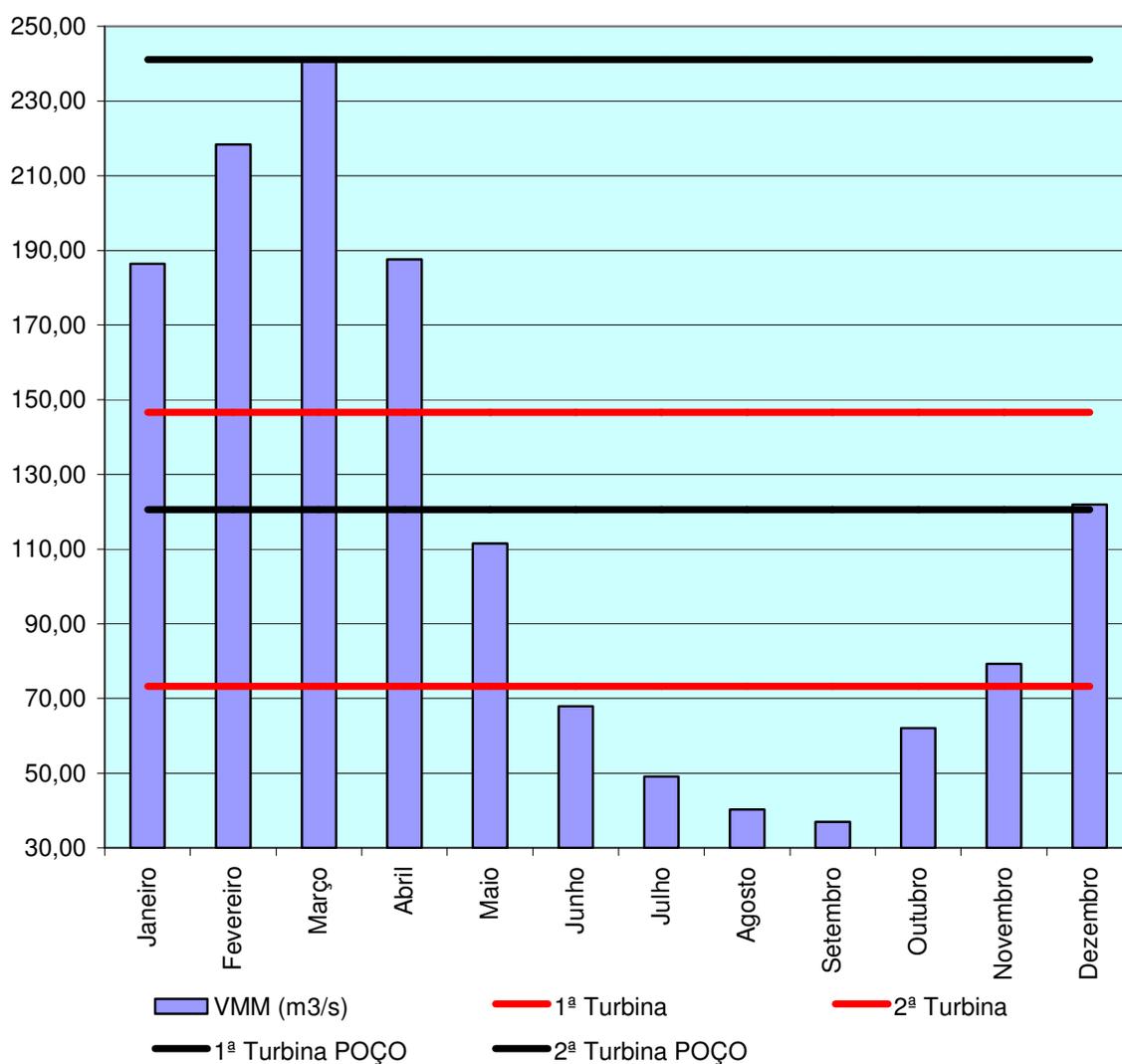


Figura 23 – Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH F

Nota: elaboração própria.

APÊNDICE G – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH G

Projeto	PCH G
Queda d'água	28,26 m
Queda d'água no período úmido	25,43 m (adotado 10% de perda)
Potência	14.650 kW
Vazão turbinada original	61,6 m3/s
Ficha de projeto	Março de 2004
Concepção original	2 Turbinas Kaplan horizontal tipo S
Concepção proposta	2 Turbinas Kaplan horizontal tipo S

Quadro 9 – Resumo técnico da PCH G

Nota: elaboração própria.

Tabela 15 – Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH G

Mês	VMM (m3/s)	1ª Turbina	2ª Turbina	1ª Turbina S	2ª Turbina S	Excesso de água m3/s	Energia adicional kWh/mês	Potência equivalente kW	Famílias atendidas no mês
Janeiro	30,40	30,80	61,60	31,50	63,00	-	-	-	-
Fevereiro	38,30	30,80	61,60	31,50	63,00	-	-	-	-
Março	28,00	30,80	61,60	31,50	63,00	-	-	-	-
Abril	34,10	30,80	61,60	31,50	63,00	-	-	-	-
Maio	46,10	30,80	61,60	31,50	63,00	-	-	-	-
Junho	52,30	30,80	61,60	31,50	63,00	-	-	-	-
Julho	54,30	30,80	61,60	31,50	63,00	-	-	-	-
Agosto	51,00	30,80	61,60	31,50	63,00	-	-	-	-
Setembro	57,80	30,80	61,60	31,50	63,00	-	-	-	-
Outubro	63,00	30,80	61,60	31,50	63,00	1,40	212.919,64	301,76	1.468,41
Novembro	43,40	30,80	61,60	31,50	63,00	-	-	-	-
Dezembro	33,30	30,80	61,60	31,50	63,00	-	-	-	-
Total de sobra de água m3/s		..	..	..	..	1,40	..	..	..
Excedente anual de energia		..	..	..	..	..	212.919,64	301,76	..

Nota: elaboração própria.

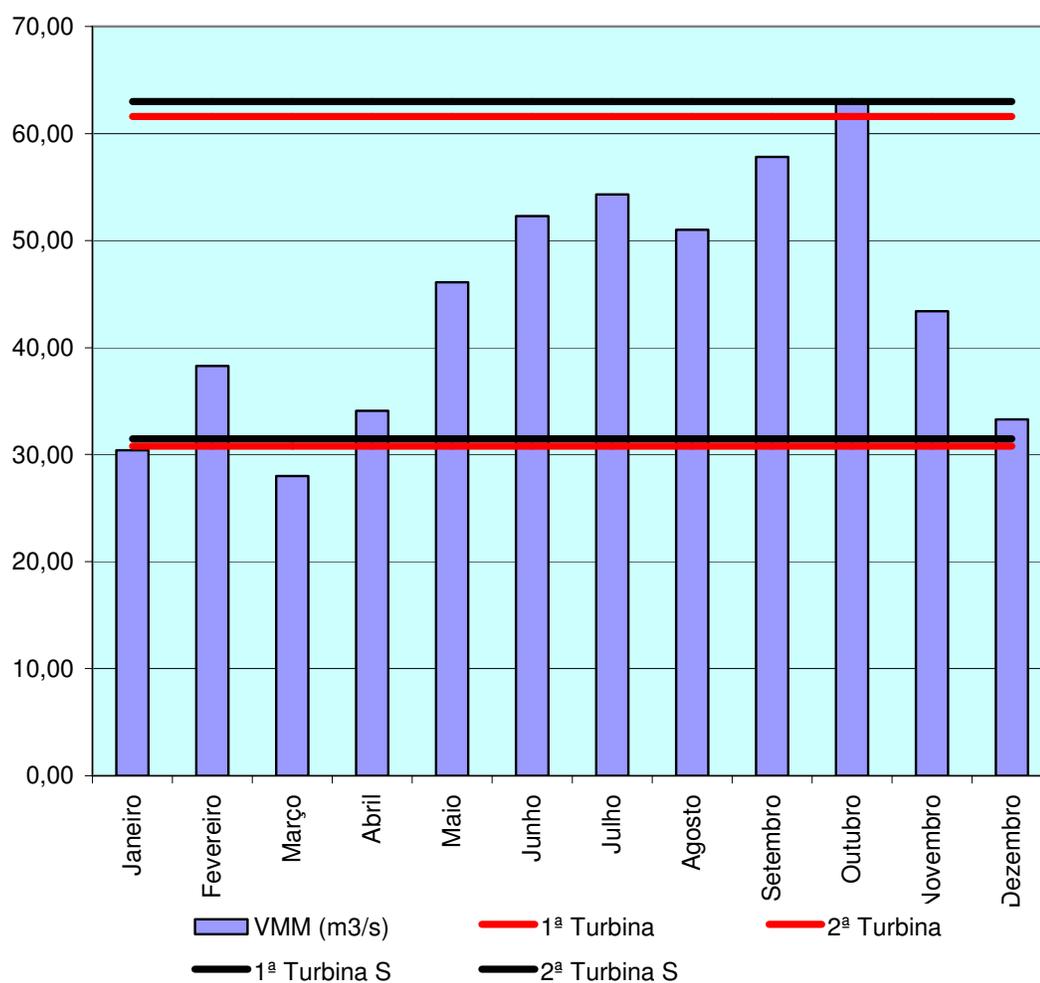


Figura 24 – Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH G

Nota: elaboração própria.

APÊNDICE H – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH H

Projeto	PCH H
Queda d'água	18 m
Queda d'água no período úmido	17,1 m
Potência	30.000 kW
Vazão turbinada original	197,61 m ³ /s
Ficha de projeto	-
Concepção original	3 Turbinas Kaplan horizontal tipo S
Concepção proposta	2 Turbinas Kaplan vertical

Quadro 10 – Resumo técnico da PCH H

Nota: elaboração própria.

Tabela 16 – Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH H

Mês	VMM (m ³ /s)	1ª Turbina	2ª Turbina	3ª Turbina	1ª Turbina S	2ª Turbina S	Excesso de água m ³ /s	Energia adicional kWh/mês	Potência equivalente kW	Famílias atendidas no mês
Janeiro	213,00	65,87	131,74	197,61	111,00	222,00	15,39	1.573.896,07	2.230,58	10.854,46
Fevereiro	219,00	65,87	131,74	197,61	111,00	222,00	21,39	2.187.500,78	3.100,20	15.086,21
Março	222,00	65,87	131,74	197,61	111,00	222,00	24,39	2.494.303,14	3.535,01	17.202,09
Abril	217,00	65,87	131,74	197,61	111,00	222,00	19,39	1.982.965,88	2.810,33	13.675,63
Mai	210,00	65,87	131,74	197,61	111,00	222,00	12,39	1.267.093,72	1.795,77	8.738,58
Junho	200,00	65,87	131,74	197,61	111,00	222,00	2,39	244.419,21	346,40	1.685,65
Julho	195,00	65,87	131,74	197,61	111,00	222,00	-	-	-	-
Agosto	193,00	65,87	131,74	197,61	111,00	222,00	-	-	-	-
Setembro	192,00	65,87	131,74	197,61	111,00	222,00	-	-	-	-
Outubro	198,00	65,87	131,74	197,61	111,00	222,00	0,39	39.884,31	56,53	275,06
Novembro	200,00	65,87	131,74	197,61	111,00	222,00	2,39	244.419,21	346,40	1.685,65
Dezembro	206,00	65,87	131,74	197,61	111,00	222,00	8,39	858.023,92	1.216,02	5.917,41
Total de sobra de água m ³ /s		..	..	..	..	..	106,51	..	..	..
Excedente anual de energia		..	..	..	..	..	..	10.892.506,23	15.437,23	..

Nota: elaboração própria.

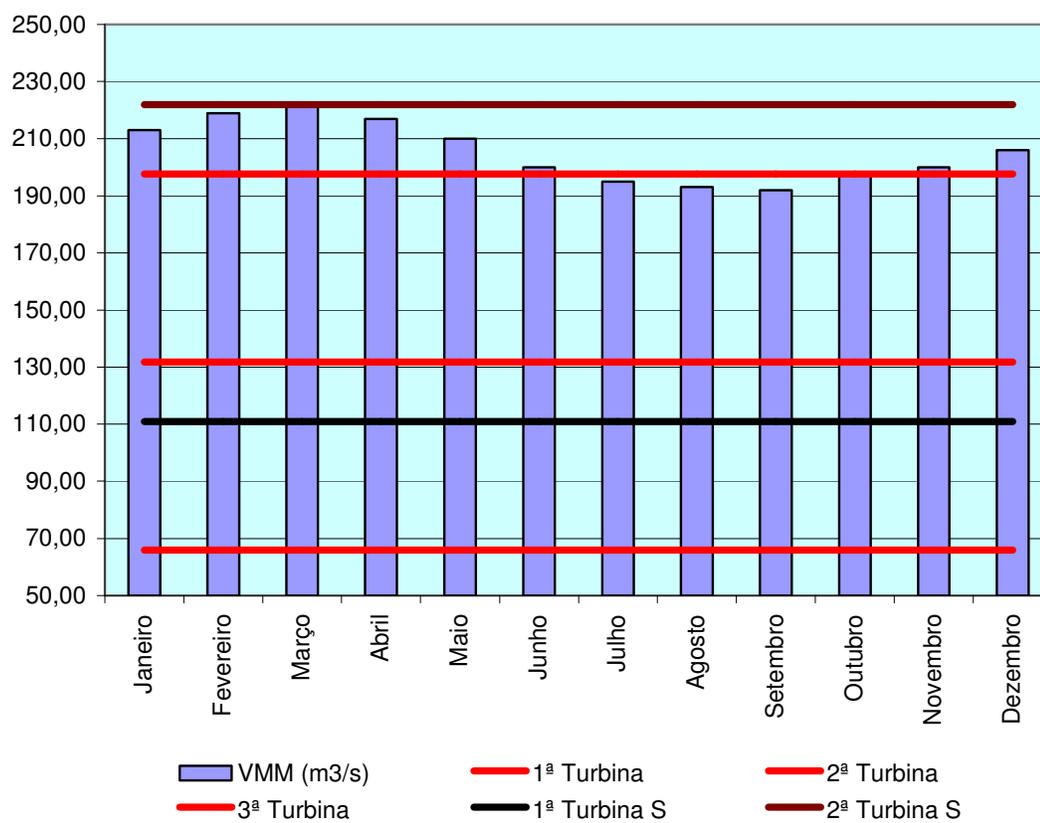


Figura 25 – Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH H

Nota: elaboração própria.

APÊNDICE I – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH I

Projeto	PCH I
Queda d'água	8,78 m
Queda d'água no período úmido	8,44 m
Potência	16.140 kW
Vazão turbinada original	200,4 m3/s
Ficha de projeto	-
Concepção original	3 Turbinas Kaplan horizontal tipo POÇO
Concepção proposta	2 Turbinas Kaplan horizontal tipo POÇO

Quadro 11 – Resumo técnico da PCH I

Nota: elaboração própria.

Tabela 17 – Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH I

Mês	VMM (m3/s)	1ª Turbina	2ª Turbina	3ª Turbina	1ª Turbina Poço	2ª Turbina Poço	Excesso de água m3/s	Energia adicional kWh/mês	Potência equivalente kW	Famílias atendidas no mês
Janeiro	196,00	66,80	133,60	200,40	102,00	204,00	-	-	-	-
Fevereiro	200,00	66,80	133,60	200,40	102,00	204,00	-	-	-	-
Março	204,00	66,80	133,60	200,40	102,00	204,00	3,60	181.713,11	257,53	1.253,19
Abril	199,00	66,80	133,60	200,40	102,00	204,00	-	-	-	-
Mai	193,00	66,80	133,60	200,40	102,00	204,00	-	-	-	-
Junho	184,00	66,80	133,60	200,40	102,00	204,00	-	-	-	-
Julho	179,00	66,80	133,60	200,40	102,00	204,00	-	-	-	-
Agosto	177,00	66,80	133,60	200,40	102,00	204,00	-	-	-	-
Setembro	176,00	66,80	133,60	200,40	102,00	204,00	-	-	-	-
Outubro	182,00	66,80	133,60	200,40	102,00	204,00	-	-	-	-
Novembro	183,00	66,80	133,60	200,40	102,00	204,00	-	-	-	-
Dezembro	189,00	66,80	133,60	200,40	102,00	204,00	-	-	-	-
Total de sobra de água m3/s		..	..	..	..	..	3,60	..	..	..
Excedente anual de energia		..	..	..	..	..	..	181.713,11	257,53	..

Nota: elaboração própria.

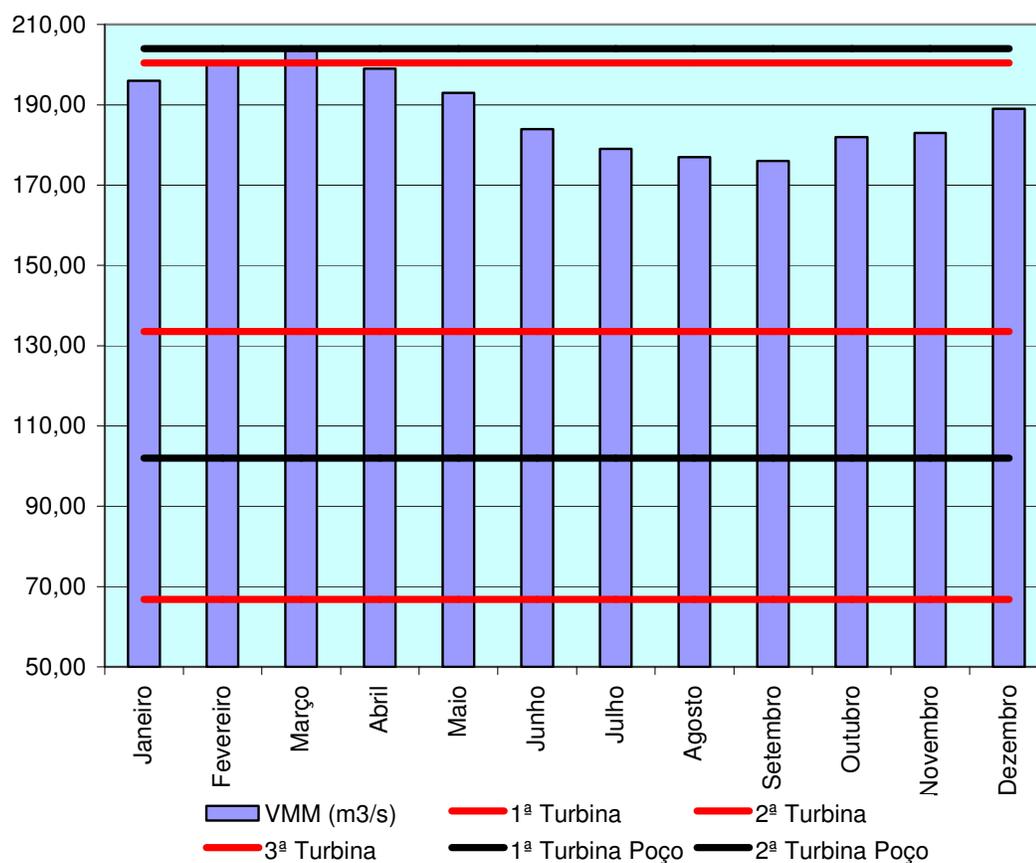


Figura 26 – Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH I

Nota: elaboração própria.

APÊNDICE J – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH J

Projeto	PCH J
Queda d'água	6,83 m
Queda d'água no período úmido	5,43 m
Potência	13.400 kW
Vazão turbinada original	217,50 m3/s
Ficha de projeto	-
Concepção original	3 Turbinas Kaplan horizontal tipo POÇO
Concepção proposta	2 Turbinas Kaplan horizontal tipo POÇO

Quadro 12 – Resumo técnico da PCH J

Nota: elaboração própria.

Tabela 18 – Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH J

Mês	VMM (m3/s)	1ª Turbina	2ª Turbina	3ª Turbina	Excesso de água m3/s	Energia adicional kWh/mês	Potência equivalente kW	Famílias atendidas no mês
Janeiro	207,00	72,50	145,00	217,50	-10,50	-	-	-
Fevereiro	212,00	72,50	145,00	217,50	-5,50	-	-	-
Março	216,00	72,50	145,00	217,50	-1,50	-	-	-
Abril	211,00	72,50	145,00	217,50	-6,50	-	-	-
Mai	205,00	72,50	145,00	217,50	-12,50	-	-	-
Junho	195,00	72,50	145,00	217,50	-22,50	-	-	-
Julho	190,00	72,50	145,00	217,50	-27,50	-	-	-
Agosto	188,00	72,50	145,00	217,50	-29,50	-	-	-
Setembro	187,00	72,50	145,00	217,50	-30,50	-	-	-
Outubro	192,00	72,50	145,00	217,50	-25,50	-	-	-
Novembro	194,00	72,50	145,00	217,50	-23,50	-	-	-
Dezembro	200,00	72,50	145,00	217,50	-17,50	-	-	-
Total de sobra de água m3/s		..	..	..	-	..	..	..
Excedente anual de energia		..	..	..	..	-	-	..

Nota: elaboração própria.

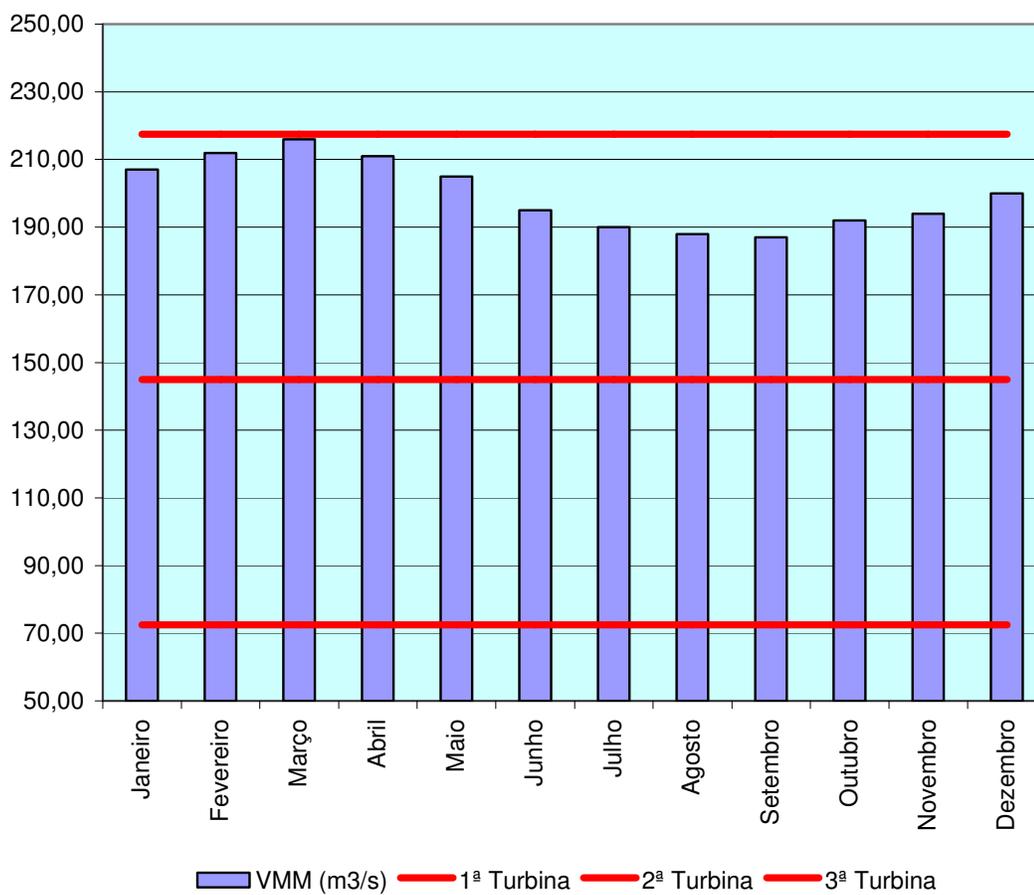


Figura 27 – Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH J

Nota: elaboração própria.

APÊNDICE K – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH K

Projeto	PCH K
Queda d'água	22,8 m
Queda d'água no período úmido	20,8 m
Potência	27.000 kW
Vazão turbinada original	136,68 m3/s
Ficha de projeto	Novembro de 2006
Concepção original	3 Turbinas Kaplan horizontal tipo S
Concepção proposta	2 Turbinas Kaplan vertical

Quadro 13 – Resumo técnico da PCH K

Fonte: elaboração própria.

Tabela 19 – Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH K

Mês	VMM (m3/s)	1ª Turbina	2ª Turbina	3ª Turbina	1ª Turbina KV	2ª Turbina KV	Excesso de água m3/s	Energia adicional kWh/mês	Potência equivalente kW	Famílias atendidas no mês
Janeiro	338,62	45,56	91,12	136,68	170,00	340,00	201,94	25.120.426,51	35.601,51	173.244,32
Fevereiro	426,15	45,56	91,12	136,68	170,00	340,00	203,32	25.292.092,30	35.844,80	174.428,22
Março	465,00	45,56	91,12	136,68	170,00	340,00	203,32	25.292.092,30	35.844,80	174.428,22
Abril	332,20	45,56	91,12	136,68	170,00	340,00	195,52	24.321.807,43	34.469,68	167.736,60
Maio	164,20	45,56	91,12	136,68	170,00	340,00	27,52	3.423.364,06	4.851,71	23.609,41
Junho	72,67	45,56	91,12	136,68	170,00	340,00	-	-	-	-
Julho	32,20	45,56	91,12	136,68	170,00	340,00	-	-	-	-
Agosto	20,10	45,56	91,12	136,68	170,00	340,00	-	-	-	-
Setembro	20,33	45,56	91,12	136,68	170,00	340,00	-	-	-	-
Outubro	36,81	45,56	91,12	136,68	170,00	340,00	-	-	-	-
Novembro	79,18	45,56	91,12	136,68	170,00	340,00	-	-	-	-
Dezembro	184,44	45,56	91,12	136,68	170,00	340,00	47,76	5.941.128,90	8.419,97	40.973,30
Total de sobra de água m3/s		..	..	..	..	..	879,38	..	..	..
Excedente anual de energia		..	..	..	..	..	..	109.390.911,49	155.032,47	..

Nota: elaboração própria.

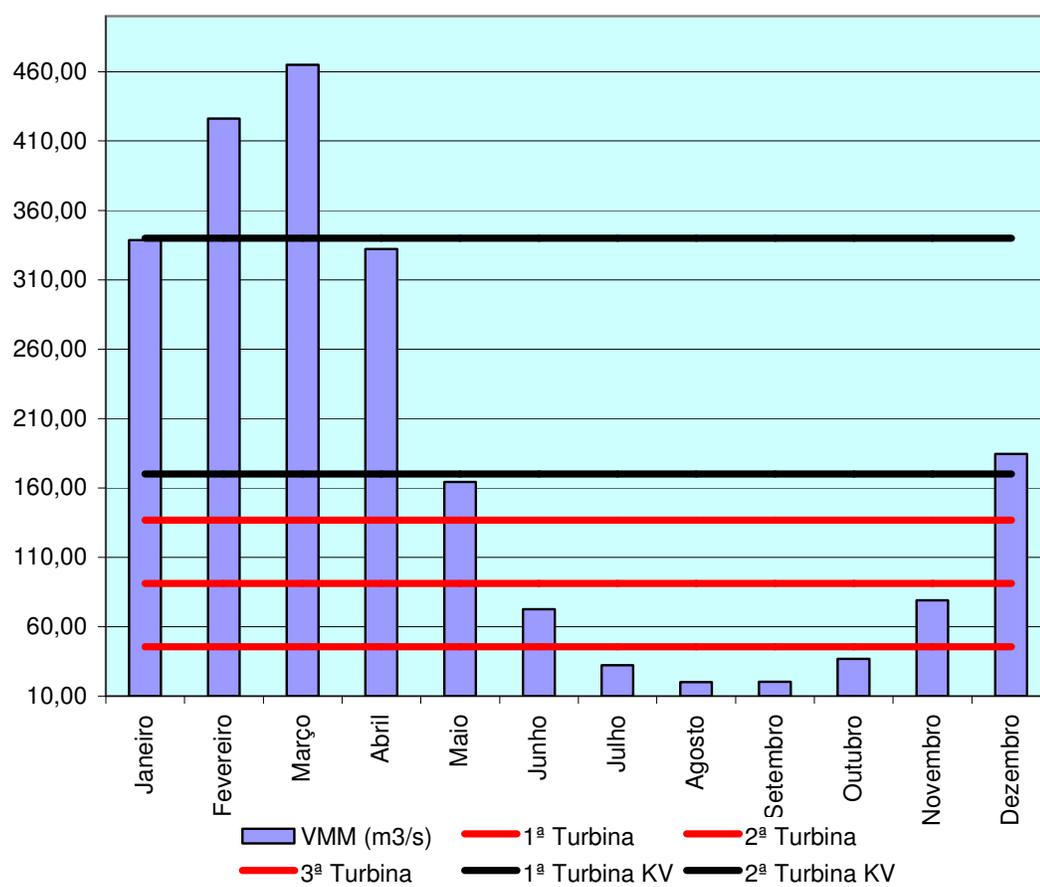


Figura 28 – Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH K

Nota: elaboração própria.

APÊNDICE L – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH L

Projeto	PCH L
Queda d'água	25,17 m
Queda d'água no período úmido	23,17 m
Potência	30.000 kW
Vazão turbinada original	137,54 m ³ /s
Ficha de projeto	Dezembro de 2006
Concepção original	3 Turbinas Kaplan horizontal tipo S
Concepção proposta	2 Turbinas Kaplan vertical

Quadro 14 – Resumo técnico da PCH L

Nota: elaboração própria.

Tabela 20 – Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH L

Mês	VMM (m ³ /s)	1ª Turbina	2ª Turbina	3ª Turbina	1ª Turbina KV	2ª Turbina KV	Excesso de água m ³ /s	Energia adicional kWh/mês	Potência equivalente kW	Famílias atendidas no mês
Janeiro	339,85	45,85	91,69	137,54	170,00	340,00	202,31	28.033.976,56	39.730,69	193.337,77
Fevereiro	427,70	45,85	91,69	137,54	170,00	340,00	202,46	28.054.761,97	39.760,15	193.481,12
Março	466,69	45,85	91,69	137,54	170,00	340,00	202,46	28.054.761,97	39.760,15	193.481,12
Abril	333,41	45,85	91,69	137,54	170,00	340,00	195,87	27.141.589,58	38.465,97	187.183,38
Mai	164,79	45,85	91,69	137,54	170,00	340,00	27,25	3.776.016,32	5.351,50	26.041,49
Junho	72,94	45,85	91,69	137,54	170,00	340,00	-	-	-	-
Julho	32,32	45,85	91,69	137,54	170,00	340,00	-	-	-	-
Agosto	20,17	45,85	91,69	137,54	170,00	340,00	-	-	-	-
Setembro	20,40	45,85	91,69	137,54	170,00	340,00	-	-	-	-
Outubro	36,94	45,85	91,69	137,54	170,00	340,00	-	-	-	-
Novembro	79,46	45,85	91,69	137,54	170,00	340,00	-	-	-	-
Dezembro	185,11	45,85	91,69	137,54	170,00	340,00	47,57	6.591.746,65	9.342,04	45.460,32
Total de sobra de água m ³ /s		..	..	..	..	..	877,92	..	..	..
Excedente anual de energia		..	..	..	..	..	..	121.652.853,05	172.410,51	..

Nota: elaboração própria.

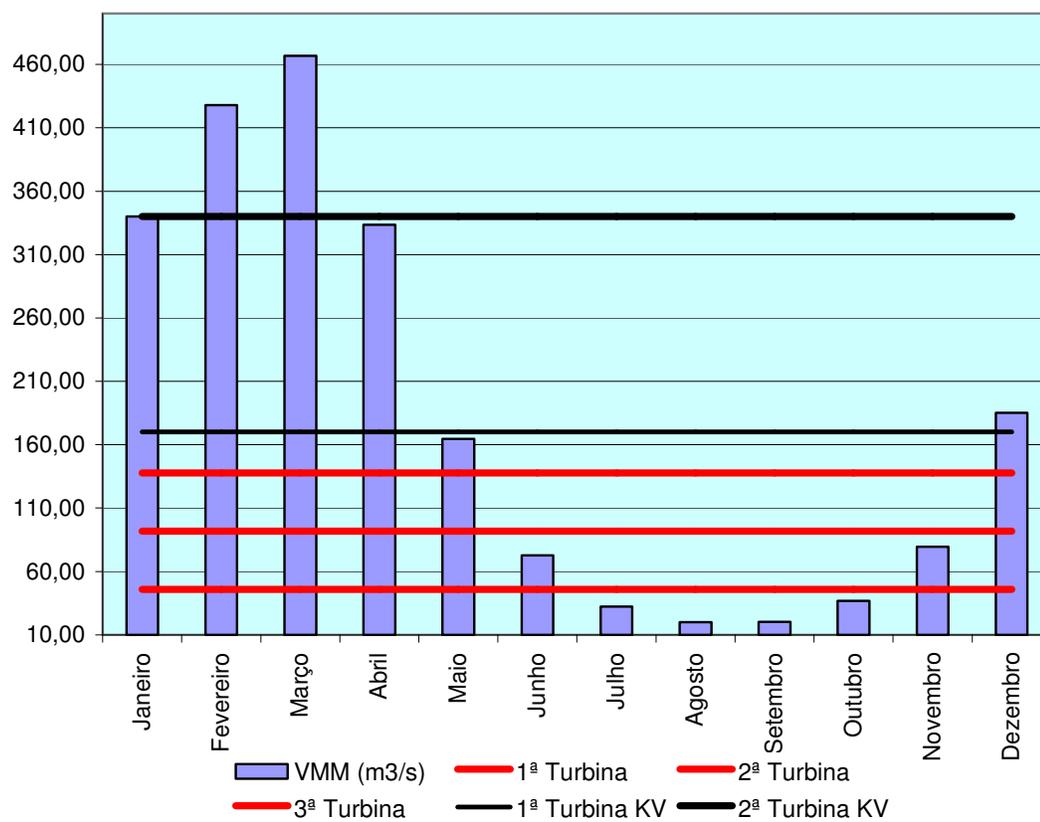


Figura 29 – Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH L

Nota: elaboração própria.

APÊNDICE M – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH M

Projeto	PCH M
Queda d'água	17,1 m
Queda d'água no período úmido	13,1 m
Potência	19.500 kW
Vazão turbinada original	131,62 m3/s
Ficha de projeto	Novembro de 2006
Concepção original	3 Turbinas Kaplan horizontal tipo S
Concepção proposta	2 Turbinas Kaplan vertical

Quadro 15 – Resumo técnico da PCH M

Nota: elaboração própria.

Tabela 21 – Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH M

Mês	VMM (m3/s)	1ª Turbina	2ª Turbina	3ª Turbina	1ª Turbina KV	2ª Turbina KV	Excesso de água m3/s	Energia adicional kWh/mês	Potência equivalente kW	Famílias atendidas no mês
Janeiro	339,99	43,87	87,75	131,62	167,00	340,00	208,37	16.324.797,75	23.136,05	112.584,81
Fevereiro	427,88	43,87	87,75	131,62	170,00	340,00	208,38	16.325.581,20	23.137,16	112.590,22
Março	466,88	43,87	87,75	131,62	170,00	340,00	208,38	16.325.581,20	23.137,16	112.590,22
Abril	333,54	43,87	87,75	131,62	170,00	340,00	201,92	15.819.470,95	22.419,89	109.099,80
Mai	164,86	43,87	87,75	131,62	170,00	340,00	33,24	2.604.195,79	3.690,75	17.959,97
Junho	72,97	43,87	87,75	131,62	170,00	340,00	-	-	-	-
Julho	32,33	43,87	87,75	131,62	170,00	340,00	-	-	-	-
Agosto	20,18	43,87	87,75	131,62	170,00	340,00	-	-	-	-
Setembro	20,41	43,87	87,75	131,62	170,00	340,00	-	-	-	-
Outubro	36,96	43,87	87,75	131,62	170,00	340,00	-	-	-	-
Novembro	79,50	43,87	87,75	131,62	170,00	340,00	-	-	-	-
Dezembro	185,19	43,87	87,75	131,62	170,00	340,00	53,57	4.196.954,53	5.948,06	28.944,51
Total de sobra de água m3/s		..	..	..	..	..	913,86	..	..	..
Excedente anual de energia		..	..	..	..	..	..	71.596.581,41	101.469,08	..

Nota: elaboração própria.

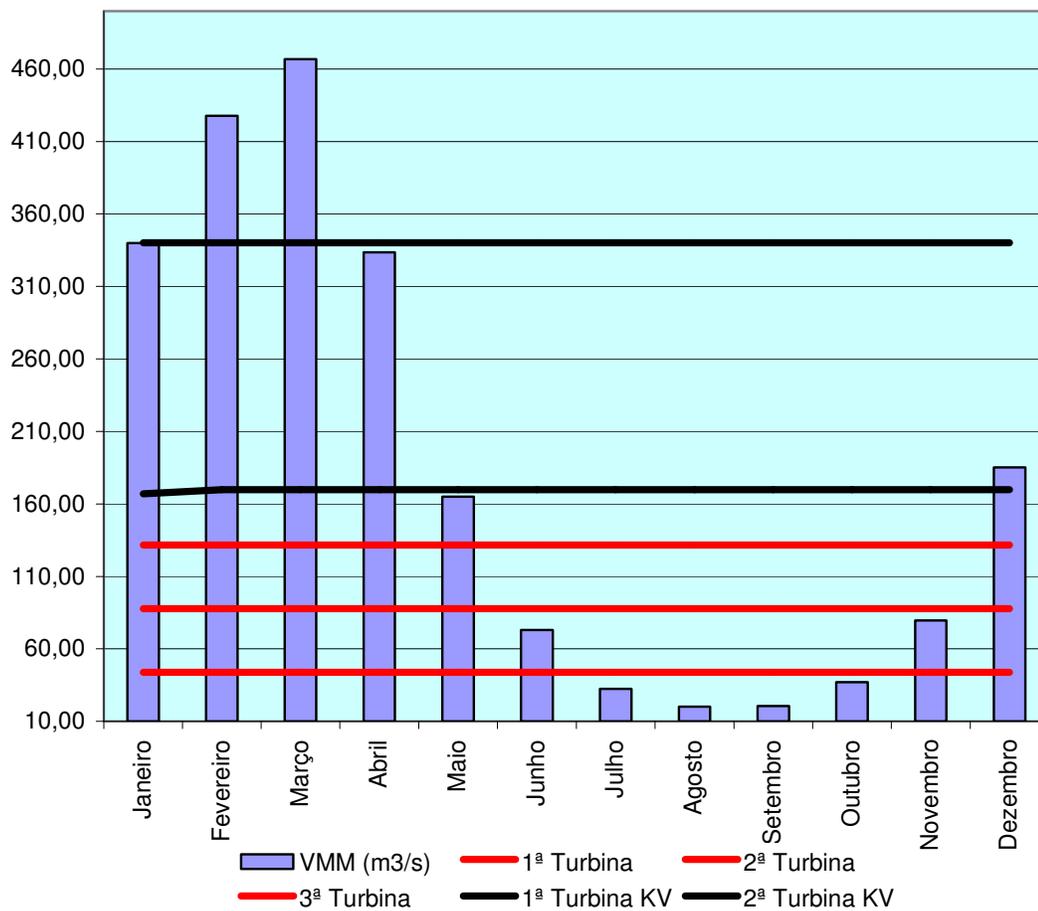


Figura 30 – Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH M

Nota: elaboração própria.

APÊNDICE N – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH N

Projeto	PCH N
Queda d'água	30,2 m
Queda d'água no período úmido	30,2 m
Potência	20.000 kW
Vazão turbinada original	62,10 m ³ /s
Ficha de projeto	-
Concepção original	3 turbinas Francis horizontal simples
Concepção proposta	2 turbinas Kaplan horizontal tipo S

Quadro 16 – Resumo técnico da PCH N

Nota: elaboração própria.

Tabela 22 – Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH N

Mês	VMM (m ³ /s)	1ª Turbina	2ª Turbina	3ª Turbina	1ª Turbina S	2ª Turbina S	Excesso de água m ³ /s	Energia adicional kWh/mês	Potência equivalente kW	Famílias atendidas no mês
Janeiro	43,40	20,65	41,40	62,10	46,30	92,60	-	-	-	-
Fevereiro	58,90	20,65	41,40	62,10	46,30	92,60	-	-	-	-
Março	44,40	20,65	41,40	62,10	46,30	92,60	-	-	-	-
Abril	38,80	20,65	41,40	62,10	46,30	92,60	-	-	-	-
Mai	56,50	20,65	41,40	62,10	46,30	92,60	-	-	-	-
Junho	65,40	20,65	41,40	62,10	46,30	92,60	3,30	596.021,88	844,70	4.110,50
Julho	74,40	20,65	41,40	62,10	46,30	92,60	12,30	2.221.536,11	3.148,44	15.320,94
Agosto	72,50	20,65	41,40	62,10	46,30	92,60	10,40	1.878.371,99	2.662,09	12.954,29
Setembro	81,90	20,65	41,40	62,10	46,30	92,60	19,80	3.576.131,29	5.068,21	24.662,97
Outubro	92,60	20,65	41,40	62,10	46,30	92,60	30,50	5.508.687,10	7.807,10	37.990,95
Novembro	61,80	20,65	41,40	62,10	46,30	92,60	-	-	-	-
Dezembro	40,30	20,65	41,40	62,10	46,30	92,60	-	-	-	-
Total de sobra de água m ³ /s		..	..	..	..	..	76,30	..	..	..
Excedente anual de energia		..	..	..	..	..	..	13.780.748,37	19.530,54	..

Nota: elaboração própria.

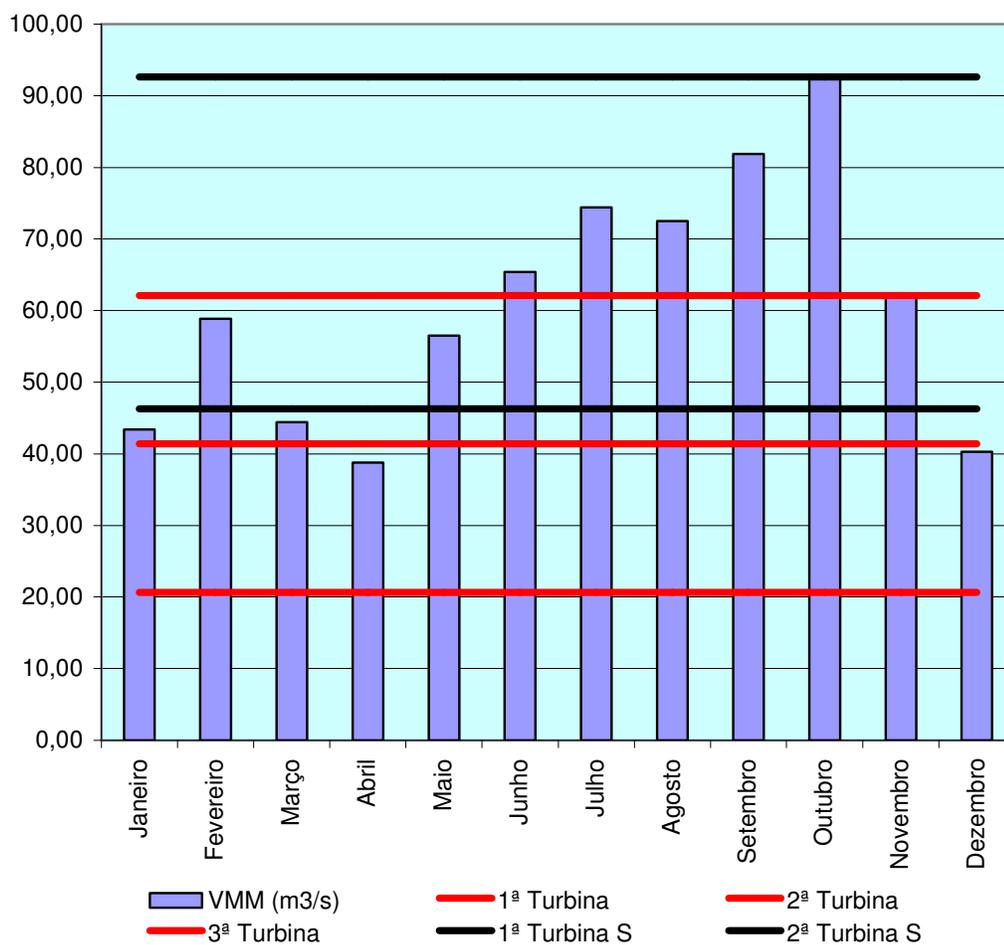


Figura 31 – Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH N

Nota: elaboração própria.

APÊNDICE O – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH O

Projeto	PCH O
Queda d'água	25,2 m
Queda d'água no período úmido	25,2 m
Potência	11.000 kW
Vazão turbinada original	50,10 m3/s
Ficha de projeto	-
Concepção original	3 turbinas Francis horizontal simples
Concepção proposta	1 turbina Kaplan horizontal tipo S

Quadro 17 – Resumo técnico da PCH O

Nota: elaboração própria.

Tabela 23 – Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH O

Mês	VMM (m3/s)	1ª Turbina	2ª Turbina	3ª Turbina	1ª Turbina S	Excesso de água m3/s	Energia adicional kWh/mês	Potência equivalente kW	Famílias atendidas no mês
Janeiro	25,70	16,67	33,40	50,10	52,90	-	-	-	-
Fevereiro	32,20	16,67	33,40	50,10	52,90	-	-	-	-
Março	23,60	16,67	33,40	50,10	52,90	-	-	-	-
Abril	28,50	16,67	33,40	50,10	52,90	-	-	-	-
Maio	36,60	16,67	33,40	50,10	52,90	-	-	-	-
Junho	43,90	16,67	33,40	50,10	52,90	-	-	-	-
Julho	45,30	16,67	33,40	50,10	52,90	-	-	-	-
Agosto	42,50	16,67	33,40	50,10	52,90	-	-	-	-
Setembro	48,50	16,67	33,40	50,10	52,90	-	-	-	-
Outubro	52,90	16,67	33,40	50,10	52,90	2,80	421.987,80	598,06	2.910,26
Novembro	36,70	16,67	33,40	50,10	52,90	-	-	-	-
Dezembro	28,20	16,67	33,40	50,10	52,90	-	-	-	-
Total de sobra de água m3/s		..	..	..	..	2,80	..	..	..
Excedente anual de energia		..	..	..	..	..	421.987,80	598,06	..

Nota: elaboração própria.

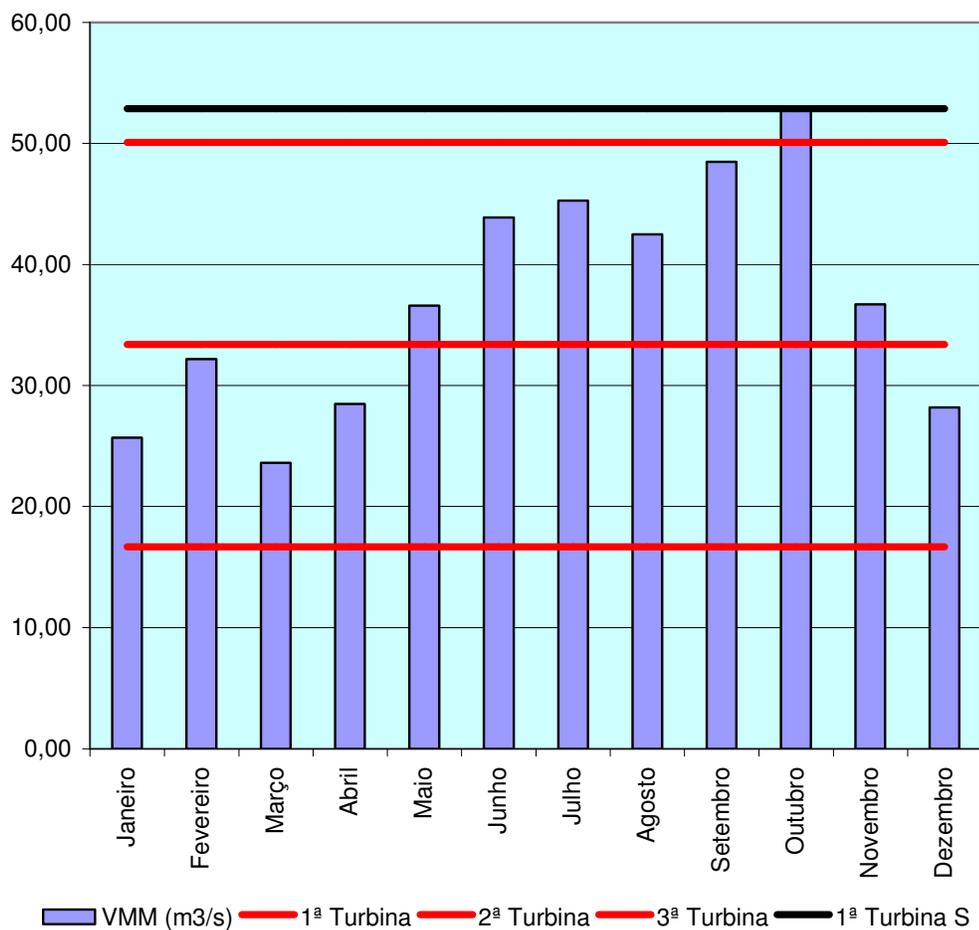


Figura 32 – Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH O

Nota: elaboração própria.

APÊNDICE P – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH P

Projeto	PCH P
Queda d'água	37,0 m
Queda d'água no período úmido	37,0 m
Potência	13.000 kW
Vazão turbinada original	40,9 m3/s
Ficha de projeto	-
Concepção original	3 turbinas Francis vertical
Concepção proposta	1 turbina Kaplan horizontal tipo S

Quadro 18 – Resumo técnico da PCH P

Nota: elaboração própria.

Tabela 24 – Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH P

Mês	VMM (m3/s)	1ª Turbina	2ª Turbina	3ª Turbina	1ª Turbina S	Excesso de água m3/s	Energia adicional kWh/mês	Potência equivalente kW	Famílias atendidas no mês
Janeiro	57,00	13,74	27,48	41,22	57,00	15,78	3.491.805,50	4.948,70	24.081,42
Fevereiro	44,10	13,74	27,48	41,22	57,00	2,88	637.287,70	903,19	4.395,09
Março	42,80	13,74	27,48	41,22	57,00	1,58	349.623,11	495,50	2.411,19
Abril	31,20	13,74	27,48	41,22	57,00	-	-	-	-
Mai	23,70	13,74	27,48	41,22	57,00	-	-	-	-
Junho	21,20	13,74	27,48	41,22	57,00	-	-	-	-
Julho	19,00	13,74	27,48	41,22	57,00	-	-	-	-
Agosto	17,30	13,74	27,48	41,22	57,00	-	-	-	-
Setembro	18,50	13,74	27,48	41,22	57,00	-	-	-	-
Outubro	22,60	13,74	27,48	41,22	57,00	-	-	-	-
Novembro	33,00	13,74	27,48	41,22	57,00	-	-	-	-
Dezembro	53,50	13,74	27,48	41,22	57,00	12,28	2.717.323,93	3.851,08	18.740,17
Total de sobra de água m3/s		..	..	..	..	0,00	..	..	..
Excedente anual de energia		..	..	..	..	..	7.196.040,24	10.198,47	..

Nota: elaboração própria.

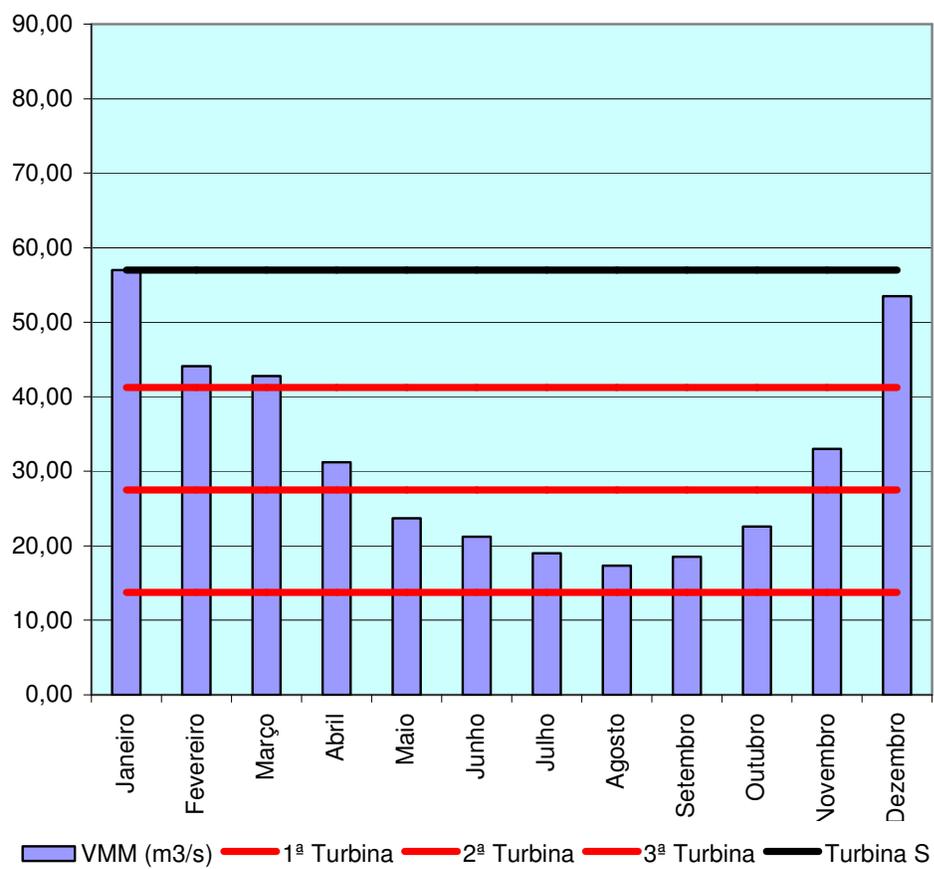


Figura 33 – Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH P

Nota: elaboração própria.

APÊNDICE Q – Demonstrativo de cálculo da energia adicional e da potência equivalente com aproveitamento do excedente de vazão não turbinada PCH Q

Projeto	PCH Q
Queda d'água	44,1 m
Queda d'água no período úmido	44,1 m
Potência	7.000 kW
Vazão turbinada original	18,9 m3/s
Ficha de projeto	-
Concepção original	3 Turbinas Francis horizontal simples
Concepção proposta	1 turbina Kaplan vertical

Quadro 19 – Resumo técnico da PCH Q

Nota: elaboração própria.

Tabela 25 – Cálculo efetivo da energia adicional e potência equivalente da PCH Q

Mês	VMM (m3/s)	1ª Turbina	2ª Turbina	3ª Turbina	1ª Turbina KV	Excesso de água m3/s	Energia adicional kWh/mês	Potência equivalente kW	Famílias atendidas no mês
Janeiro	31,50	6,27	12,60	18,90	31,50	12,60	3.323.153,92	4.709,69	22.918,30
Fevereiro	24,90	6,27	12,60	18,90	31,50	6,00	1.582.454,25	2.242,71	10.913,48
Março	21,00	6,27	12,60	18,90	31,50	2,10	553.858,99	784,95	3.819,72
Abril	15,80	6,27	12,60	18,90	31,50	-	-	-	-
Maio	12,00	6,27	12,60	18,90	31,50	-	-	-	-
Junho	9,70	6,27	12,60	18,90	31,50	-	-	-	-
Julho	8,90	6,27	12,60	18,90	31,50	-	-	-	-
Agosto	7,80	6,27	12,60	18,90	31,50	-	-	-	-
Setembro	7,30	6,27	12,60	18,90	31,50	-	-	-	-
Outubro	9,60	6,27	12,60	18,90	31,50	-	-	-	-
Novembro	16,30	6,27	12,60	18,90	31,50	-	-	-	-
Dezembro	27,50	6,27	12,60	18,90	31,50	8,60	2.268.184,42	3.214,55	15.642,65
Total de sobra de água m3/s		..	..	..	..	29,30	..	..	..
Excedente anual de energia		..	..	..	..	..	7.727.651,57	10.951,89	..

Nota: elaboração própria.

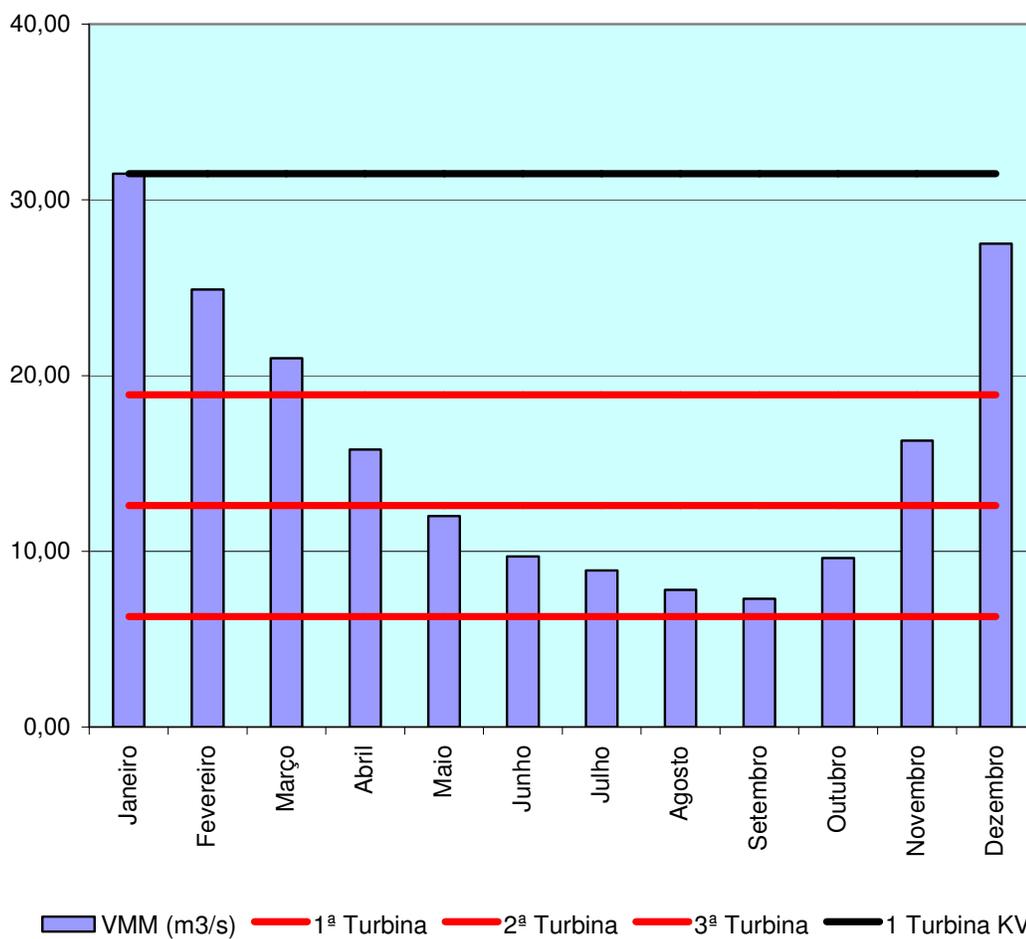


Figura 34 – Gráfico do demonstrativo do excedente desconsiderado para efeito de produção de energia da PCH Q

Nota: elaboração própria.

ANEXO A – Vazões médias mensais de PCH F

Tabela 26 – Vazões médias mensais, 1931-2002, Brasil, em m³/s

Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média
1931	141,8	181,3	194,4	145,9	77,0	49,0	38,3	33,1	30,4	86,1	108,8	123,4	100,8
1932	223,3	292,7	278,3	202,4	134,7	78,3	54,3	43,8	40,5	117,7	196,9	212,3	156,3
1933	264,1	239,5	255,2	188,5	106,6	66,0	50,5	43,1	39,0	67,5	70,4	81,1	122,6
1934	252,9	309,5	272,1	272,4	155,2	85,3	59,8	48,5	42,6	74,9	95,8	113,8	148,6
1935	161,0	178,6	251,1	201,7	104,6	64,2	48,2	40,7	36,9	66,1	83,7	99,6	111,4
1936	122,5	133,6	138,3	121,6	59,4	41,5	34,7	31,4	29,4	61,4	65,1	83,6	76,9
1937	136,0	138,4	216,6	184,2	125,4	69,2	46,8	37,4	33,3	66,3	77,3	94,2	102,1
1938	163,2	191,5	154,9	122,0	60,8	41,7	34,2	30,2	28,2	62,3	67,4	101,8	88,2
1939	170,3	220,1	295,1	219,3	116,8	68,3	48,9	39,8	35,7	66,3	67,4	102,7	120,9
1940	236,0	277,4	345,9	238,8	160,2	89,8	60,1	47,8	42,4	69,1	67,9	66,7	141,8
1941	94,4	155,0	192,3	158,8	80,9	51,4	39,9	34,5	31,8	65,6	101,6	145,8	96,0
1942	202,5	247,9	312,8	208,8	107,9	65,5	49,1	41,2	37,6	73,3	100,2	153,3	133,3
1943	237,2	184,8	215,9	155,1	86,3	54,6	42,5	36,7	33,3	64,2	80,3	98,7	107,5
1944	187,0	240,5	221,9	178,7	99,8	59,8	43,9	36,9	33,3	66,5	83,2	143,2	116,2
1945	190,4	226,0	304,3	222,4	134,7	76,1	52,6	42,4	37,1	68,2	81,2	92,4	127,3
1946	145,2	209,3	194,2	150,3	101,3	60,7	43,7	36,5	32,8	63,3	66,0	81,1	98,7
1947	174,6	198,0	285,2	208,4	128,6	71,1	49,3	40,0	35,9	73,7	106,6	153,7	127,1
1948	240,9	230,2	242,0	185,0	108,8	65,8	47,7	39,8	35,7	68,9	95,8	164,8	127,1
1949	256,5	232,4	219,0	212,9	120,3	69,7	49,8	41,0	36,4	70,2	104,9	136,5	129,1
1950	228,4	231,4	301,4	214,3	118,1	69,9	51,0	42,4	37,6	66,5	70,2	113,2	128,7
1951	172,5	173,3	269,3	193,3	132,8	74,5	51,0	41,5	36,6	66,8	85,2	136,7	119,5
1952	165,8	221,6	221,5	162,5	85,7	54,4	42,0	36,2	33,0	63,5	66,5	113,2	105,5
1953	191,3	209,8	276,6	208,2	138,7	76,1	51,2	41,2	36,6	69,6	101,1	222,2	135,2
1954	195,3	227,6	281,9	196,9	116,4	69,4	50,1	41,5	36,9	65,4	68,3	101,1	120,9

Continuação

Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média
1955	151,0	223,9	264,0	233,8	144,3	77,0	52,4	41,9	36,6	65,6	65,5	78,0	119,5
1956	121,4	176,1	181,6	191,6	124,3	68,3	46,1	37,2	32,8	63,7	82,3	110,9	103,0
1957	227,3	214,9	196,7	180,3	114,5	65,3	45,4	37,2	33,3	64,0	69,7	90,9	111,6
1958	141,1	182,7	209,2	189,0	124,1	67,4	45,6	36,7	32,3	63,0	81,2	105,2	106,5
1959	183,2	202,3	230,7	174,3	94,4	56,5	41,6	34,8	31,6	64,9	80,5	93,3	107,3
1960	115,6	162,1	191,6	160,0	89,5	53,7	39,4	33,1	29,9	62,1	76,6	143,2	96,4
1961	187,4	228,8	243,8	185,6	118,3	68,5	47,7	38,8	34,5	64,2	67,4	111,3	116,4
1962	190,8	229,1	217,7	201,9	125,2	70,1	48,2	39,1	34,7	69,6	72,0	120,6	118,3
1963	158,2	159,0	164,4	142,2	75,9	48,3	37,8	32,6	29,9	60,7	62,8	86,9	88,2
1964	144,2	182,3	209,0	146,6	99,8	60,7	43,0	35,3	31,4	67,0	92,4	115,7	102,3
1965	142,0	136,5	254,4	217,4	119,4	67,4	47,0	38,1	33,8	64,4	80,5	104,0	108,7
1966	140,3	200,5	181,6	156,5	95,3	55,3	40,4	33,8	30,6	62,8	73,4	93,7	97,0
1967	148,3	184,8	206,0	161,8	83,6	50,4	38,3	32,6	29,7	62,6	68,3	110,9	98,1
1968	121,4	199,0	163,8	122,5	59,4	41,0	33,2	29,5	27,2	60,2	60,4	90,0	84,0
1969	130,1	153,0	175,1	150,1	74,0	45,5	34,7	29,7	27,0	70,7	118,4	125,7	94,5
1970	124,6	149,3	179,6	176,1	107,2	59,3	40,9	33,1	29,4	60,9	67,9	124,2	96,0
1971	176,2	184,0	215,2	160,4	87,9	53,2	39,4	33,4	30,4	67,0	76,2	80,0	100,3
1972	126,9	180,4	248,2	203,4	114,9	63,2	43,7	35,5	30,4	64,0	70,0	100,7	106,8
1973	180,8	219,4	246,2	218,2	145,8	78,6	51,5	40,7	35,9	65,8	65,8	100,1	120,7
1974	197,3	269,8	208,2	222,4	131,6	72,7	49,6	40,0	35,0	66,8	75,7	154,7	127,0
1975	250,4	284,3	354,8	233,8	134,3	79,0	56,4	45,9	40,2	68,6	72,9	145,0	147,1
1976	270,7	256,2	246,0	211,2	127,5	74,9	48,9	44,0	39,0	70,5	72,5	129,8	132,6
1977	214,7	253,1	204,5	148,4	95,8	61,8	45,8	39,1	36,6	68,6	82,1	158,7	117,4
1978	225,9	222,6	295,3	233,9	158,6	106,7	67,9	47,3	45,0	77,2	95,4	209,1	148,7
1979	240,1	253,4	269,3	218,2	127,3	83,5	55,9	43,8	47,1	70,7	87,1	89,1	132,1

Continuação

Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média
1980	115,2	211,0	266,1	193,8	105,3	57,0	42,2	30,7	30,0	34,4	50,2	94,2	102,5
1981	148,1	191,9	280,1	156,9	81,7	60,4	38,0	28,3	26,5	37,2	72,8	123,2	103,8
1982	278,9	281,9	241,6	200,2	103,1	65,7	49,3	41,9	41,6	40,3	57,9	69,9	122,7
1983	98,3	155,8	211,4	170,0	91,2	68,7	49,5	39,4	34,5	46,8	80,5	119,0	97,1
1984	203,1	202,5	223,3	222,1	129,1	73,4	50,5	40,3	37,1	44,3	84,7	136,8	120,6
1985	240,5	245,8	251,1	213,8	99,5	68,7	57,8	42,1	44,2	59,2	74,6	122,0	126,6
1986	274,8	277,2	369,6	217,4	151,0	100,7	68,7	59,8	55,3	54,2	57,3	96,5	148,5
1987	133,3	162,9	266,5	156,9	99,5	68,1	47,7	36,8	33,0	42,9	82,9	146,9	106,5
1988	225,6	250,5	284,9	193,1	117,9	77,6	55,1	41,8	36,9	43,2	58,2	137,4	126,9
1989	185,4	340,0	312,2	264,3	145,1	93,8	72,0	65,7	29,5	39,1	53,7	137,8	144,9
1990	164,1	213,4	242,1	191,8	112,9	67,5	47,9	39,9	35,2	67,2	48,1	93,0	110,3
1991	235,7	276,6	237,5	213,8	144,5	75,2	49,5	34,2	31,6	36,8	49,6	58,5	120,3
1992	138,0	239,9	230,4	155,8	93,0	64,6	56,0	46,6	61,0	55,7	96,5	164,6	116,8
1993	233,9	238,1	198,4	172,9	103,6	70,5	51,4	46,0	46,0	50,8	74,0	178,3	122,0
1994	254,1	306,8	185,4	200,8	111,3	83,5	69,3	52,3	54,2	68,1	62,2	125,0	131,1
1995	208,5	264,1	196,0	171,8	132,1	79,4	58,7	47,5	46,4	58,6	82,3	191,3	128,1
1996	283,7	245,8	265,3	207,9	122,6	81,1	61,0	52,8	48,4	55,2	104,8	107,2	136,3
1997	202,5	260,6	323,4	230,4	128,5	85,3	59,8	53,7	51,0	52,2	49,5	63,4	130,0
1998	78,8	118,4	190,1	120,8	67,5	49,2	37,3	33,6	33,0	50,8	127,3	180,6	90,6
1999	220,3	208,5	354,8	158,1	135,0	80,0	63,4	44,8	45,1	44,4	80,0	188,9	135,3
2000	209,7	226,8	271,8	172,9	93,6	65,1	53,2	49,2	44,0	60,4	88,8	119,0	121,2
2001	183,0	287,8	281,9	168,8	117,9	83,5	60,4	44,1	48,7	55,5	82,9	213,8	135,7
2002	244,0	261,8	178,3	163,5	110,8	68,1	54,2	51,1	46,3	44,1	65,1	99,5	115,6
Média	186,4	218,4	241,1	187,6	111,5	67,9	49,1	40,3	36,9	62,1	79,3	121,9	116,9
Máxima	283,7	340,0	369,6	272,4	160,2	106,7	72,0	65,7	61,0	117,7	196,9	222,2	369,6
Mínima	78,8	118,4	138,3	120,8	59,4	41,0	33,2	28,3	26,5	34,4	48,1	58,5	26,5

Fonte: Ficha de projeto da PCH F.

ANEXO B – Ficha-resumo para estudos de viabilidade e projeto básico

		FICHA-RESUMO - ESTUDOS DE VIABILIDADE E PROJETO BÁSICO																					
		<small>VERSÃO ABRIL/2008</small>																					
NOME DA USINA:							DATA:																
ETAPA:							POT. (MW):																
NOME DO(S) INTERESSADO(S):																							
CONTATO (resp. pelo empreendimento / e-)							TEL.:		FAX:														
NOME DA(S) EMPRESA(S) PROJETISTA(S)							TEL.:		FAX:														
CONTATO (resp. técnico pelo estudo / e-m)							TEL.:		FAX:														
1. LOCALIZAÇÃO																							
RIO:			BACIA:			SUB-BACIA:			DISTÂNCIA DA FOZ:			km											
MUNICÍPIO(S)			UF:			MUNICÍPIO(S)			UF:														
(BARRAGEM)			UF:			(C.DE FORÇA)			UF:														
COORDENADAS GEOGRÁFICAS DA BARRAGEM:																							
LATITUDE:		graus		minutos		segundos		SUL (S) OU NORTE (N):															
LONGITUDE:		graus		minutos		segundos		OESTE (W)															
COORDENADAS GEOGRÁFICAS DA CASA DE FORÇA:																							
LATITUDE:		graus		minutos		segundos		SUL (S) OU NORTE (N):															
LONGITUDE:		graus		minutos		segundos		OESTE (W)															
2. CARTOGRAFIA / TOPOGRAFIA																							
PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA:						ZONA:		DATUM:		MC:													
CARTAS E PLANTAS TOPOGRÁFICAS:						DATA:		ESCALA:		FONTE:													
FOTOS AÉREAS:						DATA:		ESCALA:		FONTE:													
RESTITUIÇÃO AEROFOTOGRAMÉTRICA:						ESCALA:																	
3. HIDROMETEOROLOGIA																							
POSTOS FLUVIOMÉTRICOS DE REFERÊNCIA:																							
TIPO:		CÓD.:		ENTIDADE:		NOME:		RIO:		AD (em km²):													
TIPO:		CÓD.:		ENTIDADE:		NOME:		RIO:		AD (em km²):													
TIPO:		CÓD.:		ENTIDADE:		NOME:		RIO:		AD (em km²):													
TIPO:		CÓD.:		ENTIDADE:		NOME:		RIO:		AD (em km²):													
TIPO:		CÓD.:		ENTIDADE:		NOME:		RIO:		AD (em km²):													
TIPO:		CÓD.:		ENTIDADE:		NOME:		RIO:		AD (em km²):													
VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (m³/s) – PERÍO (DE MÊS/ANO A MÊS/ANO)						TIPO DA SÉRIE (REGULARIZADA ou NATURAL):																	
JAN		FEV		MAR		ABR		MAI		JUN		JUL		AGO		SET		OUT		NOV		DEZ	
PERMANÊNCIA DE VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (m³/s):																							
5 %		10 %		20 %		30 %		40 %		50 %		60 %		70 %		80 %		90 %		95 %		100 %	
PRECIP. MÉDIA MENSAL (mm) – PERÍO (DE MÊS/ANO A MÊS/ANO)																							
JAN		FEV		MAR		ABR		MAI		JUN		JUL		AGO		SET		OUT		NOV		DEZ	
EVAPOR. MÉDIA MENSAL (mm) – PERÍO (DE MÊS/ANO A MÊS/ANO)																							
JAN		FEV		MAR		ABR		MAI		JUN		JUL		AGO		SET		OUT		NOV		DEZ	
PREC. MÉDIA ANUAL:						mm		VAZÃO MLT – PERÍODO:		(DE MÊS/ANO A MÊS/ANO)		m³/s											
EVAP. MÉDIA ANUAL:						mm		VAZÃO FIRME		CRITÉRIO: (Qperm ou P.Cri)		m³/s											
EVAP. MÉDIA MENSAL:						mm		VAZÃO MÁX. REGISTRADA		(MÊS/ANO)		m³/s											
ÁREA DE DRENAGEM:						km²		VAZÃO MÍN. REGISTRADA		(MÊS/ANO)		m³/s											

8. ESTUDOS ENERGÉTICOS										
QUEDA BRUTA:				m	VAZÃO DE USOS CONSUNTIVOS:					m³/s
PERDA HIDRÁULICA:				%	ENERGIA GERADA:					MW médios
FATOR DE INDISP. FORÇADA:				-	ENERGIA FIRME:					MW médios
FATOR DE INDISP. PROGRAMADA:				-	PRODUTIBILIDADE MÉDIA (NA com 65 % V.U. armazen):					MW / m³/s
RENDIMENTO DO CONJ. TURBINA/GERADOR:				%	PRODUTIBILIDADE MÁXIMA (NA máximo normal)					MW / m³/s
VAZÃO REMANESCENTE:	CRITÉRIO:				m³/s	PRODUTIBILIDADE MÍNIMA (NA mínimo normal)				MW / m³/s
9. CUSTOS										
OBRAS CIVIS:				X 10³ R\$	SISTEMA DE TRANSMISSÃO ASSOCIADO:					X 10³ R\$
EQUIPAMENTOS ELETROMECÂNICOS:				X 10³ R\$	CUSTO TOTAL C/ SIST. DE TRANS. ASSOCIADO:					X 10³ R\$
MEIO AMBIENTE:				X 10³ R\$	JUROS ANUAIS:					%
OUTROS CUSTOS:				X 10³ R\$	PERÍODO DE UTILIZAÇÃO DA USINA:					anos
CUSTO DIRETO TOTAL:				X 10³ R\$	O & M:					R\$/MWh
CUSTOS INDIRETOS:				X 10³ R\$	CUSTO DA ENERGIA GERADA:					R\$/MWh
CUSTO TOTAL S/ JDC:				X 10³ R\$	DATA DE REFERÊNCIA:					
CUSTO TOTAL C/ JDC:	(JDC = %)			X 10³ R\$	TAXA DE CÂMBIO:					R\$/US\$
CRONOGRAMA DE DESEMBOLSO (% DO CUSTO TOTAL S/ JDC)										
	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANO 9	ANO 10
USINA (%)										
SIST. DE TRANS. ASSOC. (%)										
10. IMPACTOS SÓCIO-AMBIENTAIS										
POPULAÇÃO ATINGIDA (N° HABITANTES):					FAMÍLIAS ATINGIDAS:					
URBANA:					URBANA:					
RURAL:					RURAL:					
TOTAL:					TOTAL:					
RELOCAÇÃO DE ESTRADAS ? (sim ou não)							EXTENSÃO:			km
RELOCAÇÃO DE PONTES ? (sim ou não)							EXTENSÃO:			km
EMPREGOS GERADOS DURANTE A CONSTRUÇÃO:										
DIRETOS:					INDIRETOS:					
11. CRONOGRAMA - PRINCIPAIS FASES										
INÍCIO DAS OBRAS ATÉ O DESVIO DO RIO:				meses	PRAZO TOTAL DA OBRA (GERAÇÃO DA ÚLTIMA UNID)					meses
DESVIO DO RIO ATÉ O FECHAMENTO:				meses						
FECHAMENTO ATÉ GERAÇÃO DA 1ª UNIDADE:				meses	MARCO - MONTAGEM ELETROMECÂNICA (1ª UNIDADE)					meses
PRAZO DE GERAÇÃO ENTRE UNIDADES:				meses	MARCO - OPERAÇÃO PRIMEIRA UNIDADE:					meses
12. ASPECTOS CRÍTICOS DO EMPREENDIMENTO										
NÚCLEOS URBANOS ATINGIDOS ? (sim ou não)										
ÁREAS INDUSTRIAIS ATINGIDAS ? (sim ou não)										
ÁREAS INDÍGENAS ? (sim ou não)										
ÁREAS DE QUILOMBOLAS ? (sim ou não)										
UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DA NATUREZA ? (sim ou não)										
ÁREAS DE PESQUISA OU EXPLORAÇÃO MINERAL ? (sim ou não)										
SÍTIOS ARQUEOLÓGICOS ? (sim ou não)										
CAVERNAS ? (sim ou não)										
DISPONIBILIDADE HÍDRICA ? (sim ou não)										
OUTROS ? (sim ou não)										
13. DESCRIÇÃO SOBRE OS OUTROS USOS DA ÁGUA										
NAVEGAÇÃO (sim ou não)					(especificar, quando for o caso)					
ABASTECIMENTO PÚBLICO (sim ou não)					(especificar, quando for o caso)					
TURISMO LOCAL (sim ou não)					(especificar, quando for o caso)					
LAZER (sim ou não)					(especificar, quando for o caso)					
OUTROS (sim ou não)					(especificar, quando for o caso)					

DADOS DE ARRANJO					
14. DESVIO					
TIPO:			ESCAVAÇÃO COMUM:		m³
VAZÃO DE DESVIO:	(TR = ANOS)		m³/s	ESCAVAÇÃO EM ROCHA A CÉU ABERTO:	m³
NÚMERO DE UNIDADES:			-	ESCAVAÇÃO EM ROCHA SUBTERRÂNEA:	m³
SEÇÃO:			m²	CONCRETO (CONVENCIONAL):	m³
COMPRIMENTO:			m	ENSECADEIRA:	m³
15. BARRAGEM					
TIPO DE ESTRUTURA / MATERIAL:			CONCRETO CONVENCIONAL:		m³
COMPRIMENTO TOTAL DA CRISTA:			m	CONCRETO COMPACTADO A ROLO - CCR:	m³
ENROCAMENTO:			m³	ESCAVAÇÃO COMUM:	m³
ATERRO COMPACTADO:			m³	ESCAVAÇÃO EM ROCHA:	m³
FILTROS E TRANSIÇÕES:			m³	VOLUME TOTAL:	m³
16. DIQUES					
TIPO DE ESTRUTURA / MATERIAL:			ATERRO COMPACTADO:		m³
COMPRIMENTO TOTAL DA(S) CRISTA(S):			m	FILTROS E TRANSIÇÕES:	m³
ALTURA MÁXIMA:			m	CONCRETO CONVENCIONAL:	m³
COTA DA CRISTA:			m	CONCRETO COMPACTADO A ROLO - CCR:	m³
ENROCAMENTO:			m³	VOLUME TOTAL:	m³
17. VERTEDOIRO					
TIPO:			CONCRETO (CONVENCIONAL):		m³
VAZÃO DE PROJETO:	(TR = ANOS)		m³/s	COMPORTAS:	
COTA DA SOLEIRA:			m	TIPO:	
COMPRIMENTO TOTAL:			m	ACIONAMENTO:	
NÚMERO DE VÃOS:			-	LARGURA:	m
LARGURA DO VÃO:			m	ALTURA:	m
ESCAVAÇÃO COMUM:			m³	ESTRUTURA DE DISSIPACÃO DE ENERGIA:	
ESCAVAÇÃO EM ROCHA A CÉU ABERTO:			m³	TIPO:	
ESCAVAÇÃO EM ROCHA A SUBTERRÂNEA:			m³		
18. CIRCUITO HIDRÁULICO DE GERAÇÃO					
CANAL/TÚNEL DE ADUÇÃO:			CONCRETO:		m³
COMPRIMENTO:			m	COMPORTAS	
LARGURA / SEÇÃO:			m / m²	TIPO:	
ESCAVAÇÃO COMUM:			m³	ACIONAMENTO:	
ESCAVAÇÃO EM ROCHA A CÉU ABERTO:			m³	LARGURA:	m
ESCAVAÇÃO EM ROCHA SUBTERRÂNEA:			m³	ALTURA:	m
CONCRETO:			m³	CHAMINÉ DE EQUILÍBRIO	
CÂMARA DE CARGA:			DIÂMETRO INTERNO:		m
ÁREA SUPERFICIAL:			m²	ALTURA:	m
SOBREVELEVAÇÃO MÁXIMA:			m	CONDUTO/TÚNEL FORÇADO	
DEPLEÇÃO MÁXIMA:			m	NÚMERO DE UNIDADES:	-
TOMADA D'ÁGUA:			DIÂMETRO INTERNO:		m
TIPO:			COMPRIMENTO MÉDIO:		m
COMPRIMENTO TOTAL:			m	ESCAVAÇÃO EM ROCHA A CÉU ABERTO:	m³
NÚMERO DE VÃOS:			-	ESCAVAÇÃO EM ROCHA SUBTERRÂNEA:	m³
ESCAVAÇÃO COMUM:			m³	CONCRETO:	m³
ESCAVAÇÃO EM ROCHA A CÉU ABERTO:			m³	TRECHO BLINDADO:	t
ESCAVAÇÃO EM ROCHA SUBTERRÂNEA:			m³		

19. CASA DE FORÇA				
TIPO:			ESCAVAÇÃO COMUM:	m ³
NÚMERO DE UNIDADES:		-	ESCAVAÇÃO EM ROCHA A CÉU ABERTO:	m ³
LARGURA DOS BLOCOS:		m	ESCAVAÇÃO EM ROCHA A SUBTERRÂNEA:	m ³
ALTURA DOS BLOCOS:		m	CONCRETO:	m ³
COMPRIMENTO DOS BLOCOS:		m		
20. OBRAS ESPECIAIS				
TIPO:			ESCAVAÇÃO EM ROCHA A SUBTERRÂNEA:	m ³
ESCAVAÇÃO COMUM:		m ³	CONCRETO CONVENCIONAL:	m ³
ESCAVAÇÃO EM ROCHA A CÉU ABERTO:		m ³	CONCRETO COMPACTADO A ROLO - CCR:	m ³
21 . VOLUMES TOTAIS				
ESCAVAÇÃO COMUM:		m ³	ENROCAMENTO:	m ³
ESCAVAÇÃO EM ROCHA A CÉU ABERTO:		m ³	ATERRO COMPACTADO:	m ³
ESCAVAÇÃO EM ROCHA A SUBTERRÂNEA:		m ³	CONCRETO CONVENCIONAL:	m ³
SOLO:		m ³	CONCRETO COMPACTADO A ROLO - CCR:	m ³
22. OBSERVAÇÕES				
23. INSTRUÇÕES PARA PREENCHIMENTO DA FICHA-RESUMO				
<p>1) A ficha deverá ser integralmente preenchida pelo interessado. Nos campos onde não se aplicar determinada informação, indicar "n/a";</p> <p>2) Durante o preenchimento deverão ser observadas as unidades estabelecidas em cada campo;</p> <p>3) As informações a serem inseridas deverão ser compatíveis com as constantes dos estudos de viabilidade e/ou projetos básicos (texto e desenhos) entregues a ANEEL;</p> <p>4) O valor de potência instalada da usina deverá atender a expressão: Potência Instalada = (nº de unidades) x (potência unitária nominal dos geradores em kVA) x (fator de potência);</p> <p>5) Não deverão ser inseridas ou excuídas linhas. Preencher apenas os campos preestabelecidos; e</p> <p>6) Todas as folhas da ficha resumo deverão ser assinadas e carimbadas pelo responsável técnico do estudo / projeto.</p>				