

**ESCOLA POLITÉCNICA  
DA  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ENERGIA E  
AUTOMAÇÃO ELÉTRICAS**



**USO DESCENTRALIZADO DE PEQUENOS RECURSOS  
HÍDRICOS PARA ENERGIZAÇÃO LOCAL**

**Daniel Nicolini Breanza  
Danilo Belpiede**

**ESCOLA POLITÉCNICA  
DA  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ENERGIA E  
AUTOMAÇÃO ELÉTRICAS**



**PROJETO DE FORMATURA / 2002**

**USO DESCENTRALIZADO DE PEQUENOS RECURSOS  
HÍDRICOS PARA ENERGIZAÇÃO LOCAL**

Autores: Daniel Nicolini Breanza  
Danilo Belpiede  
Orientadores: Miguel Edgar Morales Udaeta  
Octavio Ferreira Affonso  
Coordenadores: Carlos Márcio Vieira Tahan  
Marco Antonio Saidel

Aos nossos pais Osmar Oliveira Breanza e  
Dulce Maria Nicolini Breanza, Walter Belpiede  
e Regina Célia Nogueira Belpiede que tanto nos  
incentivaram durante todo o curso de graduação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos aos que colaboraram com o enriquecimento do trabalho, os orientadores Miguel Edgar Morales Udaeta e Octavio Ferreira Affonso, os coordenadores Marco Antonio Saidel e Carlos Marcio Vieira Tahan por manterem participação ativa junto ao desenvolvimento do projeto.

Obrigado a todos.

## **RESUMO**

O estudo e desenvolvimento de centrais hidrelétricas de pequeno porte têm crescido substancialmente por sua importância no suprimento de demandas localizadas e sistemas isolados, uma concepção simplificada que lhes proporcionam baixo custo de implantação e manutenção, a facilidade na operação e sua inserção no meio ambiente sem grandes prejuízos ao mesmo.

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema constitui uma das bacias hidrográficas do Estado de São Paulo, possuindo um potencial hidrelétrico para geração de pequeno porte, com uma razoável quantidade de rios e um relevo apropriado. Atualmente, o aproveitamento desses recursos para a pequena, média e grande geração encontra-se saturado.

O presente trabalho aparenta ser um atraente planejamento energético, pela importância no investimento em geração de energia elétrica de pequeno porte e sua simplicidade em relação às centrais hidrelétricas de maior capacidade no que diz respeito aos aspectos construtivos de projetos desse tipo. Visto que a região do Médio Paranapanema é considerada abundante em recursos hídricos para esse fim, possui a maior parte de sua área destinada à agropecuária e geograficamente situa-se afastada dos grandes centros consumidores de energia, faz-se necessário um estudo detalhado de como utilizar esses recursos na geração isolada de eletricidade na região. O estudo proposto neste trabalho avalia a viabilidade no investimento em projetos de centrais hidrelétricas de pequeno porte para energização local, considerando a faixa de geração de 1kW a 500kW.

Apresenta-se uma estimativa do potencial hidrelétrico da bacia hidrográfica do Médio Paranapanema e uma avaliação econômica dos recursos utilizados para a captação desse potencial. Estuda-se também o uso de múltiplos sistemas hidrelétricos descentralizados, sua contribuição para a região do Médio Paranapanema e para o sistema elétrico brasileiro como um todo. É importante salientar que não podem ser esquecidos os aspectos ambientais e a legislação em vigor que envolve os empreendimentos de pequeno porte. Por se tratar de centrais hidrelétricas nessa faixa de geração abordada no trabalho, o impacto causado por uma hidrelétrica desse tipo é muito baixo comparado a uma de maior porte.

## **ABSTRACT**

The study and development of small hydro power generation systems have grown a lot because of their importance in producing energy for local consumers, through the use of systems which are isolated: a simplified idea that requires low costs of implantation and repairment, facility in operation and involves small damages to the environment.

The Management Unity of Hydric Sources of “Médio Paranapanema” includes one of the hydrographic areas of São Paulo State, which possesses a hydroelectric capacity for small hydro power generation, with a lot of rivers and special geographical conditions. Nowadays, the use of those systems for middle and large generation is almost completely exhausted.

The purpose of this work considers the possibility of investing in small hydro power projects for local consumers, considering the range of 1 kW to 500 kW.

It shows a survey of hydroelectric capacity of hydrographic area of “Médio Paranapanema” and an economical budget of the equipments, which are necessary for this purpose. Finally, it studies the use of the many non-centralized hydroelectric systems, their contribution to the region of “Médio Paranapanema” and to the Brazilian electric systems as a whole.

## SUMÁRIO

<b>1. OBJETIVO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>2</b>
<b>3. O ESTADO DE SÃO PAULO E AS UNIDADES DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS .....</b>	<b>4</b>
3.1. Caracterização Geral do Estado de São Paulo.....	4
3.2. Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos .....	8
<b>4. UGRHI - 17 – MÉDIO PARANAPANEMA .....</b>	<b>11</b>
4.1. Caracterização geral da UGRHI .....	11
4.1.1. Localização e limites .....	11
4.1.2. Municípios da UGRHI .....	12
4.1.3. Interfaces com outras unidades de gerenciamento.....	13
4.1.4. Divisão em unidades hidrográficas .....	14
4.2. Informações adicionais.....	17
4.2.1. População.....	17
4.2.2. Crescimento Populacional (% a.a.) .....	17
4.2.3. Energia Elétrica .....	17
4.2.4. Socioeconomia.....	18
4.2.5. Disponibilidade Hídrica.....	18
4.2.6. Importação / Exportação de água .....	18
4.2.7. Aproveitamentos hidráulicos .....	19
4.2.8. Navegação.....	19
<b>5. ESTIMATIVA DO POTENCIAL HIDRELÉTRICO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO MÉDIO PARANAPANEMA .....</b>	<b>20</b>
5.1. Estudos Topográficos .....	20
5.2. Estudos Hidrológicos .....	21
5.2.1. Coleta e Análise de Dados .....	21
5.2.2. Fisiografia da Bacia e Regime Fluviométrico .....	25
5.3. Estudos Hidrelétricos.....	25
5.3.1. Determinação da Potência Aproveitável .....	25
5.3.2. Definição da Potência a ser Instalada.....	26
5.4. Estimativa do Potencial Hidrelétrico .....	27
5.4.1. Estudos Topográficos e Hidrológicos .....	27
5.4.2. Estudos Hidrelétricos.....	38
<b>6. ESTIMATIVA INICIAL DE CUSTO.....</b>	<b>50</b>
6.1. Metodologia.....	50
6.2. Parâmetros construtivos .....	51
6.3. Roteiro de Trabalho.....	52
6.3.1. Casa de máquinas .....	53
6.3.2. Desvio do rio.....	53
6.3.3. Barragem.....	53
6.3.4. Canal adutor .....	53
6.3.5. Equipamentos eletromecânicos.....	54
6.3.6. Custo Direto Total.....	54
6.3.7. Custos Indiretos.....	54
6.3.8. Custo Total sem Juros .....	54
6.3.9. Juros Durante a Construção e Custo Total com Juros.....	55

<b>6.4. Orçamento em nível preliminar .....</b>	<b>55</b>
6.4.1. Picocentrais hidrelétricas .....	56
6.4.2. Microcentrais hidrelétricas .....	59
6.4.3. Minicentrais hidrelétricas .....	62
6.4.4. Considerações Finais.....	65
<b>7. USO DESCENTRALIZADO DE PEQUENOS RECURSOS HÍDRICOS.....</b>	<b>67</b>
7.1. Aspectos Energéticos.....	67
7.2. Aspectos Ambientais .....	67
7.3. Aspectos Sociais.....	68
7.4. Aspectos Políticos .....	69
7.5 Considerações Finais.....	71
<b>8. CONCLUSÕES.....</b>	<b>73</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>74</b>

## **1. OBJETIVO**

O objetivo do trabalho é avaliar o potencial hidrelétrico na bacia hidrográfica do Médio Paranapanema considerando a faixa de 1 kW a 500 kW de potência. Estimar o custo de implementação de centrais hidrelétricas desse porte e analisar o uso de múltiplos sistemas hidrelétricos descentralizados para a energização local.

## **2. INTRODUÇÃO**

A produção de energia elétrica de uma central hidrelétrica depende, dentre outros fatores, da vazão de água efetivamente usada para produzir a energia mecânica que aciona o gerador elétrico. Esta vazão recebe o nome de vazão turbinável (ou turbinada), pois deve acionar a turbina que transmitirá energia ao gerador. Outro fator importante é a diferença de altitudes do relevo do rio. A queda natural de altura e a vazão são os principais objetos do presente trabalho. Com isso, a instalação de centrais hidrelétricas de pequeno porte na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema torna-se possível. Neste trabalho é enfatizada a implementação de centrais hidrelétricas situadas na faixa entre 1 kW e 500 kW de potência em pequenos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Médio Paranapanema.

As técnicas de cálculo adotadas permitem cobrir o maior número possível de centrais hidrelétricas de pequeno porte. As características construtivas e de geração de energia elétrica devem ser adequadas para a instalação de centrais em locais propícios da região em estudo. Existem ainda diversos aproveitamentos sem utilização, principalmente nas áreas do setor agropecuário.

Chama-se a atenção para os seguintes aspectos considerados importantes ao bom entendimento deste trabalho:

- Centrais hidrelétricas de pequeno porte não são centrais grandes em escala reduzida, por isso não se deve adaptar a tecnologia das grandes nas de pequeno porte.
- Todas as fórmulas necessárias são fornecidas e suas grandezas e coeficientes, devidamente explicados.
- O sistema de unidades adotado neste conteúdo não é integralmente o sistema legal adotado no país, tendo em vista que este sistema ainda não foi totalmente absorvido pela comunidade.

Quanto aos equipamentos eletromecânicos como turbinas, geradores, transformadores (quando necessário) e outros de fabricação mais especializada

adotam-se tipos de fabricação padronizada e de fácil aquisição no mercado nacional. São necessárias consultas com pequenos fabricantes, a fim de concretizar as dimensões e os tipos de equipamentos utilizados na estimativa do estudo. As estruturas das obras civis que envolvem as centrais são as mais consultadas.

Para atender o primeiro passo dos requisitos hidrelétricos, isto é, avaliar o potencial existente na região selecionada, são apresentados métodos de verificação da topografia e hidrometria dos rios, para a determinação da queda bruta e das vazões dos cursos d'água.

Na parte hidrológica, são estabelecidos critérios simples para a determinação das vazões que atendam a faixa de potência a ser instalada.

Em seguida, são apresentados métodos para uma avaliação preliminar do custo da construção das estruturas e equipamentos necessários à concretização do aproveitamento dos potenciais existentes, permitindo imediatamente saber se o investimento necessário à obra é compensador ou não. Esse custo é baseado em estimativas econômicas e estruturas pré-dimensionadas como, por exemplo: a área da casa de máquinas, altura da barragem, quantidade de concreto utilizada e outros. O dimensionamento das estruturas vale somente nas limitações adotadas com valores básicos dos parâmetros, conforme especificado. Os parâmetros básicos de valores superiores aos limites apresentados exigem estruturas de tal porte não condizentes aos métodos aqui abordados. Métodos mais sofisticados recaem na metodologia clássica do dimensionamento das grandes estruturas. As metodologias apresentadas nos manuais existentes do Setor Elétrico Brasileiro, as quais somente são válidas para grandes centrais, não se aplicam às centrais hidrelétricas de pequeno porte. Especialmente, não podem ser utilizadas as curvas de custo das grandes centrais.

Por fim, é apresentado um estudo do uso de múltiplos sistemas hidrelétricos descentralizados nos aspectos sociais, políticos, ambientais e energéticos.

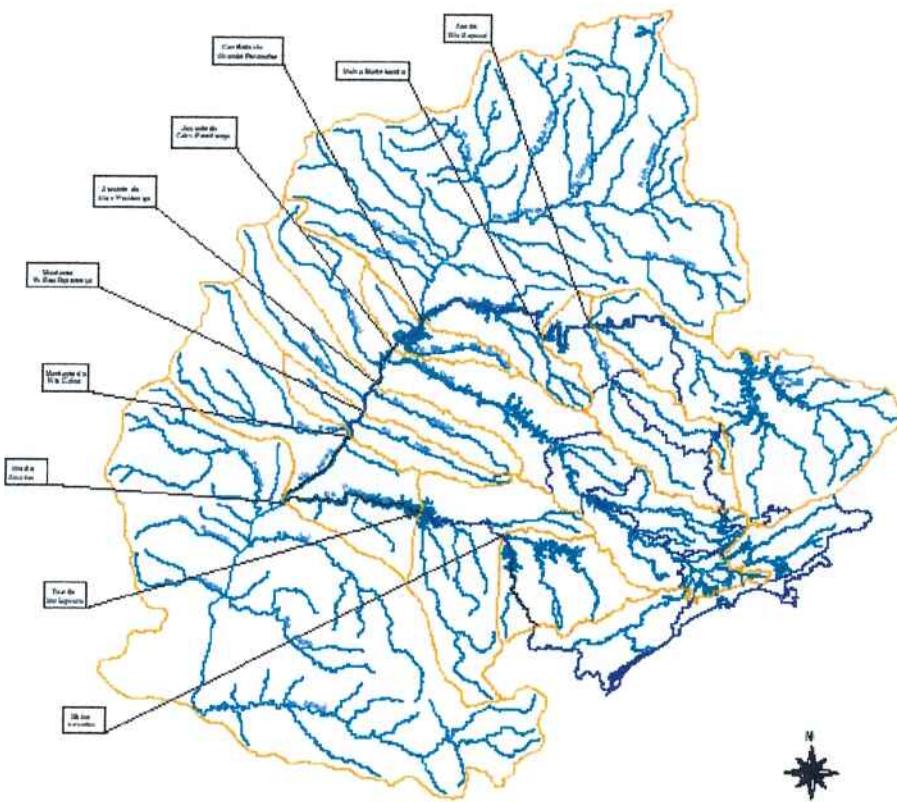
### **3. O ESTADO DE SÃO PAULO E AS UNIDADES DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS**

#### **3.1. Caracterização Geral do Estado de São Paulo**

É universalmente reconhecido o princípio fundamental de adoção da bacia hidrográfica como unidade físico-territorial básica, para o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos. Entretanto, existem dificuldades para a adoção irrestrita desse princípio porque não há coincidência das divisas político-administrativas com os divisores de águas. Observa-se ainda que as inter-relações políticas, sociais e econômicas entre regiões e comunidades não respeitam nem as divisas nem os divisores. Mesmo no campo restrito dos recursos hídricos, as reversões de águas obrigam o seu gerenciamento contemplando o conjunto de bacias hidrográficas envolvidas.

No caso específico do Estado de São Paulo, as bacias hidrográficas pertencem à bacia do rio Paraná ou às bacias do Atlântico Sul-Leste e Atlântico Sudeste, conforme divisão hidrográfica adotada pelo IBGE e pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE.

Visualiza-se, no **Mapa 3.1**, que o Estado de São Paulo compartilha bacias hidrográficas com os Estados de Minas Gerais e Paraná, no caso dos rios Grande e Paranapanema, está a montante do Estado do Rio de Janeiro, no caso da bacia do rio Paraíba do Sul, a jusante de Minas Gerais, no caso dos rios Sapucaí, Pardo, Mogi-Guaçu e Piracicaba, e a jusante do Paraná, no caso do rio Ribeira de Iguape. Considerando a bacia do rio Paraná, a montante da Ilha do Óleo Cru, o Estado de São Paulo deve compartilhar os recursos hídricos dessa importante bacia com Unidades da Federação situadas a montante dessa seção hidrográfica, a saber: Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Goiás e Distrito Federal.



**Mapa 3.1 – Sub-bacias do rio Paraná**

A primeira divisão hidrográfica do Estado de São Paulo remonta ao Decreto 4.388, de 14 de março de 1928, que regulamentou a Lei 2.261, de 31 de dezembro de 1927, quando foi reorganizado o Serviço Meteorológico com vistas à sistematização das observações hidrometeorológicas. O Estado de São Paulo foi então dividido em 8 zonas hidrográficas:

- 1ª. Zona - Bacia do rio Tietê, a montante da confluência do rio Piracicaba.
- 2ª. Zona - Bacia do rio Tietê, entre a confluência da bacia do rio Piracicaba até a sua foz, no rio Paraná.
- 3ª. Zona - Bacias dos rios Peixe e Aguapeí.
- 4ª. Zona - Bacia dos rios Paranapanema e Itararé, incluindo o vale do rio Santo Anastácio.
- 5ª. Zona - Bacia do rio Ribeira de Iguape e vertentes marítimas.

6<sup>a</sup>. Zona - Bacia do rio Paraíba.

7<sup>a</sup>. Zona - Bacias dos rios Pardo e Mogi-Guaçu.

8<sup>a</sup>. Zona - Bacias dos rios Turvo, Preto e São José dos Dourados.

Nas décadas de 60/70, os estudos de planejamento de recursos hídricos realizados pelo DAEE consideraram subdivisões hidrográficas ao longo da bacia do rio Tietê, merecendo destaque os relativos ao Alto Tietê, a montante da barragem de Pirapora, do Convênio Hibbrace, e os da bacia do rio Piracicaba realizados por diversas empresas de consultoria.

A partir de 1972, com o fim de sistematizar as atividades de cadastramento e outorga de direito de uso dos recursos hídricos, a Diretoria de Planejamento e Controle do DAEE subdividiu as zonas hidrográficas em 18 subzonas descritas no relatório *Caracterização dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo* (DAEE - DP, 1984).

Com a criação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH), pelo Decreto 27.576 de 11 de novembro de 1987, ficou estabelecido como um de seus objetivos a "proposição de formas de gestão descentralizada dos recursos hídricos, em nível regional e municipal, adotando-se as bacias hidrográficas como unidades de gestão, de forma compatibilizada com as divisões político-administrativas" (Artigo 4º, inciso V).

Para indicar a divisão hidrográfica a ser considerada no gerenciamento dos recursos hídricos, o CRH criou a Equipe Técnica Físico Territorial (ET-FT) coordenada pelo Instituto Geográfico e Cartográfico da Secretaria de Economia e Planejamento, o que resultou na sugestão apresentada no Primeiro Plano Estadual de Recursos Hídricos - 1990, com a proposta de 21 unidades de gerenciamento.

Depois de avaliada essa proposta de divisão hidrográfica são sugeridas as seguintes alterações que culminaram com a indicação de 22 unidades de gerenciamento de recursos hídricos em que se constitui a atual divisão hidrográfica do Estado:

- Substituição das unidades Alto Pardo/Mogi e Baixo Pardo/Mogi pelas unidades do Pardo e do Mogi-Guaçu;
- Divisão da unidade do Baixo Paranapanema em duas unidades: Médio Paranapanema e Pontal do Paranapanema;

- Incorporação da bacia do rio Santo Anastácio à unidade do Pontal do Paranapanema;
- Incorporação à unidade do Piracicaba das sub-bacias do Capivari e Jundiaí;
- Alteração do limite de jusante da Bacia do Alto Tietê da barragem de Pirapora para a barragem de Rasgão.

Na denominação das unidades foram adotados os critérios: *rio principal ou rios principais; divisão segundo trechos* (alto, médio e baixo) e *nomes regionais* conforme descrito no **Tabela 4.1**.

DENOMINAÇÃO CONFORME	COD.	UGRHI
Rio principal	20	Aguapeí
ou	09	Mogi-Guaçu
rios principais	02	Paraná do Sul
	04	Pardo
	21	Peixe
	05	Piracicaba/Capivari/Jundiaí
	11	Ribeira de Iguape/Litoral Sul
	18	São José dos Dourados
	08	Sapucaí/Grande
	16	Tietê/Batalha
	13	Tietê/Jacaré
	10	Tietê/Sorocaba

	15	Turvo/Grande
	14	Alto Paranapanema
	06	Alto Tietê
Trecho	12	Baixo Pardo/Grande
	19	Baixo Tietê
	17	Médio Paranapanema
	07	Baixada Santista
Região	03	Litoral Norte
	01	Mantiqueira
	22	Pontal do Paranapanema

**Tabela 4.1 – Denominação das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Estado de São Paulo**

### **3.2. Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos**

Constam no **Mapa 3.2** as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHIs, em que o Estado de São Paulo passou a ser oficialmente dividido, seus limites e as divisas municipais.



**Mapa 3.2 – Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo**

A classificação da UGRHI, segundo sua vocação, obedece ao estabelecido na Lei 9.034, de 27 de dezembro de 1994.

Ressalte-se que os estudos de planejamento dos recursos hídricos, dependendo do seu escopo, deverão contemplar regiões hidrográficas ou bacias com mais de uma unidade de gerenciamento de recursos hídricos como, por exemplo, as unidades sucessivas contidas na bacia do rio Paranapanema; as unidades vizinhas onde existam ou estejam previstas reversões de águas (Alto Tietê, Baixada Santista e Piracicaba) e as bacias hidrográficas compartilhadas com Estados vizinhos.

Em outro estágio de detalhamento as UGRHIs poderão ser subdivididas em unidades de segundo nível, tendo em vista a formulação e a implantação de planos e programas sub-regionais.

Neste trabalho são estudados apenas os rios pertencentes a UGRHI do Médio Paranapanema, sem dar atenção aos conflitos existentes entre as outras unidades de

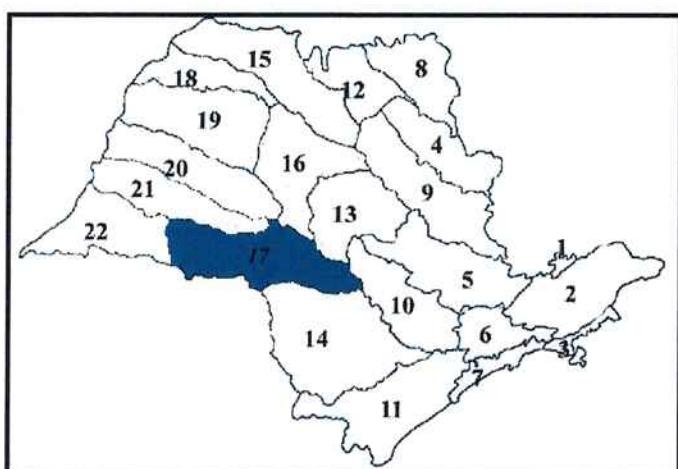
gerenciamento limítrofes e aos municípios locais que estão contidos, totais ou parcialmente, na unidade.

## **4. UGRHI - 17 – MÉDIO PARANAPANEMA**

### **4.1. Caracterização geral da UGRHI**

#### **4.1.1. Localização e limites**

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema (UGRHI – 17) representa uma das unidades de gerenciamento definidas pela Lei n.<sup>o</sup> 9.034/94, com área total de 16.763 km<sup>2</sup>. Agrega os tributários da margem direita do curso médio do rio Paranapanema, localizando-se na porção centro-oeste do Estado de São Paulo (**Mapa 4.1**).



**Mapa 4.1** - Situação da UGRHI-17 e as demais unidades no Estado de São Paulo.

Seu gerenciamento é de responsabilidade do Comitê da Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema (CBH-MP). Os limites fisiográficos desta unidade de gerenciamento são os seguintes:

- Estado do Paraná e UGRHI – 14 (Alto Paranapanema), ao sul;
- UGRHI – 22 (Pontal do Paranapanema) a oeste;
- UGRHI – 21 (Aguapef), UGRHI – 20 (Peixe), UGRHI – 16 (Tietê-Batalha) e UGRHI – 13 (Tietê-Jacaré), a norte e

- UGRHI – 10 (Tietê-Sorocaba), leste.

Seu limite com a unidade do rio Paranapanema a montante (UGRHI – 14) está no divisor de águas que inicia na confluência deste rio com o rio Itararé. O divisor de águas que inicia na confluência do rio Paranapanema com o rio Capivara é o limite com a unidade a jusante (UGRHI – 22).

Para critério de estudos, foram definidas como principais unidades hidrográficas para esta região aquelas que possuem drenagens de até 4<sup>a</sup> ordem segundo a classificação de Strahler (1952) *in Christofolleti, (1988)*. Desta forma, foram definidas oito unidades de estudo: Pardo, Turvo, Novo, Pari, Capivara e as unidades tributárias de até 3<sup>a</sup> ordem do rio Paranapanema (Desenho 1, Volume III). Tais unidades foram utilizadas para os estudos de avaliação da disponibilidade hídrica superficial.

#### 4.1.2. Municípios da UGRHI

Considerando-se integrantes do CBH-MP os 42 municípios que possuem sede ou parte dela na área da UGRHI. São eles: Águas de Santa Bárbara, Alvilândia, Assis, Avaré, Cabrália Paulista, Campos Novos Paulista, Cândido Mota, Canitar, Cerqueira César, Chavantes, Cruzália, Duartina, Echaporã, Espírito Santo do Turvo, Fernão, Florínea, Gália, Iaras, Ibirararema, Itatinga, João Ramalho, Lucianópolis, Lupércio, Maracaí, Ocauçu, Óleo, Ourinhos, Palmital, Paraguaçu Paulista, Pardinho, Paulistânia, Pedrinhas Paulista, Platina, Pratânia, Quatá, Rancharia, Ribeirão do Sul, Salto Grande, Santa Cruz do Rio Pardo, São Pedro do Turvo, Tarumã e Ubirajara (vide **Mapa 4.2**). Por não haver necessária concordância entre os limites das UGRHIs e as áreas municipais, parte desses municípios não possui suas áreas completamente compreendidas na área da UGRHI, assim como também ocorrem alguns municípios que não pertencem ao CBH-MP e, no entanto possuem área na UGRHI.



1	Águas de Santa Bárbara	20	Itatinga *	39	Santa Cruz do Rio Pardo
2	Alvinlândia	21	João Ramalho*	40	São Pedro do Turvo
3	Assis	22	Lucianópolis	41	Tarumã
4	Avaré *	23	Lupércio *	42	Ubirajara
5	Cabralia Paulista	24	Maracai	43	Bernadino de Campos**
6	Campos Novos Paulista	25	Ocauçu *	44	Lutécia**
7	Cândido Mota	26	Óleo	45	Manduri**
8	Canitar	27	Ourinhos	50	Agudos **
9	Cerqueira César *	28	Palmital	51	Borebi **
10	Chavantes *	29	Paraguaçu Paulista	52	Botucatu **
11	Cruzália	30	Pardinho *	53	Garça **
12	Duartina *	31	Paulistânia	54	Iepê **
13	Echaporã*	32	Pedrinhas Paulista	55	Ipaussu **
14	Espírito Santo do Turvo	33	Platina	56	Lençóis Paulista **
15	Fernão	34	Pratânia	57	Marilia **
16	Florínea	35	Quatá *	58	Piratinige **
17	Gália *	36	Rancharia *	59	São Manuel **
18	Iaras	37	Ribeirão do Sul		
19	Ibirararema	38	Salto Grande		

Obs.: \* municípios com parte da área rural em outra bacia; \*\* mun. com parte da área na MP.

**Mapa 4.2 – Situação e limite dos municípios com área na UGRHI 17.**

#### 4.1.3. Interfaces com outras unidades de gerenciamento

A UGRHI do Médio Paranapanema possui interferências com suas UGRHIs limítrofes devido a duas condições de perímetro listadas abaixo:

- À sua posição em relação a outras bacias hidrográficas que também contribuem para o rio Paranapanema, no caso da UGRHI 14 – Alto

Paranapanema e da UGRHI 22 – Pontal do Paranapanema, e pelas bacias afluentes do rio Paranapanema do Estado do Paraná;

- À ocorrência de municípios, independentemente de pertencerem ao CBH-MP, e que possuem suas sedes situadas nos divisores de águas delimitadores da UGRHI em questão.

#### 4.1.4. Divisão em unidades hidrográficas

A Unidade de Gerenciamento do Médio Paranapanema pode ser dividida em seis unidades hidrográficas principais, as quais inclui as sub-bacias do Pardo, Turvo, Novo, Capivara além de um conjunto de quatro áreas com os tributários de até 3<sup>a</sup> ordem do Paranapanema. Esta agrupa as drenagens que não pertencem às outras bacias mencionadas. As áreas dessas unidades estão apresentadas na **Tabela 4.1** e na **Figura 4.1**. Esta divisão leva em conta um critério fisiográfico.

Unidade geográfica	Área (km <sup>2</sup> )	%
Pardo	4.668,26	27,8
Turvo	4.236,18	25,3
Novo	1.098,85	6,6
Pari	1.029,07	6,1
Capivara	3.486,00	20,8
Tributários de até 3 <sup>a</sup> ordem do rio Paranapanema	2.244,64	13,4
Total UGRHI – 17	16.763	100

**Tabela 4.1** - Áreas das principais unidades hidrográficas do MP.

### LOCALIZAÇÃO DAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS PRINCIPAIS



**Figura 4.1** - Unidades hidrográficas principais do Médio Paranapanema: I - Capivara, II - Pari, III - Novo, IV - Turvo, V - Pardo, VI (a; b; c; d) - tributários de até 3<sup>a</sup> ordem, que deságuam diretamente no rio Paranapanema.

A Tabela 4.2 mostra a distribuição dos municípios por unidade hidrográfica, indicando aqueles onde se localiza a área urbana, sede do município.

Município	Unidades hidrográficas principais					
	Pardo	Turvo	Novo	Pari	Capivara	Tributários de até 3 <sup>a</sup> ordem do rio Paranapanema
Águas de Santa Bárbara	S					
Alvilândia		S				
Assis				S	s	
Avaré *	S					
Cebrália Paulista		S				
Campos Novos Paulista			s			
Cândido Mota				S		S
Canitar	S					
Cerqueira César *	S					

Chavantes *						S
Cruzália						S
Duartina *		S				
Echaporã *			S	s		
Espírito Santo do Turvo		S				
Fernão		S				
Florínea *						S
Gália *		S				
Iaras	S					
Ibirararema						S
Itatinga *	S					
João Ramalho *					S	
Lucianópolis		S				
Lupércio *		S				
Maracafá					s	
Ocauçu *			S			
Óleo	S					
Ourinhos	S					S
Palmital			S			S
Paraguaçu Paulista					S	
Pardinho *	S					
Paulistânea *		S				
Pedrinhas Paulista						S
Platina				S		
Pratânea	S					
Quatá *					S	
Rancharia *					S	
Ribeirão do Sul			S			
Salto Grande			S			S
Santa Cruz do Rio Pardo	S					
São Pedro do Turvo		S				
Tarumã						S
Ubirajara		S				

**Tabela 4.2 - Distribuição dos municípios nas unidades hidrográficas principais do MP.**

Sendo:

\* Municípios com área em outras UGRHIs;

s: unidade hidrográfica onde se localiza parte ou área total da sede do município;

S: unidade hidrográfica que contém a totalidade ou maior parte da sede.

#### 4.2. Informações adicionais

##### 4.2.1. População

	1980	1991	1996
<b>Urbana</b>	314.553	440.831	500.836
<b>Rural</b>	128.373	94.649	76.992
<b>Total</b>	442.926	535.480	577.828

##### 4.2.2. Crescimento Populacional (% a.a.)

	80/91	91/96
<b>Urbana</b>	3,12	2,59
<b>Rural</b>	-2,73	-4,05
<b>Total</b>	1,74	1,53

##### 4.2.3. Energia Elétrica

Tipo de Consumo	Número de consumidores		Consumo (MWh)	
	1991	1996	1991	1996
<b>Residencial</b>	-	125.606	-	290.383
<b>Rural</b>	-	9.698	-	72.617
<b>Industrial</b>	-	2.378	-	122.326
<b>Comercial/Outros</b>	-	13.825	-	67.288
<b>Total</b>	-	151.497	-	552.614

#### 4.2.4. Socioeconomia

- Grau de urbanização – 71 % (1980), 82 % (1991), 87 % (1996).
- Densidade (1996) – 33 hab/km<sup>2</sup>.
- Atividade predominante – Agropecuária.
- Principais produtos agrícolas – Cana-de-açúcar, soja e milho.
- Usos do solo - Policultura, incluindo soja, cana-de-açúcar, milho, mandioca e arroz, caracterizada por apresentar altas taxas de aplicação de agroquímicos, com exceção das culturas do milho e da mandioca; ocupação urbana e ocupação industrial e extração mineral, com predomínio de argila.
- Usos da água - Abastecimento público e industrial; afastamento de efluentes domésticos; lançamentos em suas águas de efluentes industriais e irrigação de plantações.
- Principais atividades industriais – Agroindústrias; indústrias alimentícias, frigoríficos, fábricas de farinha, engenhos de aguardente, destilarias de álcool e indústrias cerâmicas.

#### 4.2.5. Disponibilidade Hídrica

Precipitação total anual média – 1300 mm

Disponibilidade superficial:

- Vazão média – 155 m<sup>3</sup>/s
- Vazão mínima – 65 m<sup>3</sup>/s
- Vazão de referência – 113 m<sup>3</sup>/s

Disponibilidade subterrânea – 20,7 m<sup>3</sup>/s

#### 4.2.6. Importação / Exportação de água

	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	UGRHI
Importa	-	-
Exporta	0,315	10

#### 4.2.7. Aproveitamentos hidráulicos

- Área inundada total – 12,2 km<sup>2</sup>
- Potência instalada total – 257,5 MW

#### 4.2.8. Navegação

- Potencial navegável – 190 km

## **5. ESTIMATIVA DO POTENCIAL HIDRELÉTRICO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO MÉDIO PARANAPANEMA**

Essa é a etapa dos estudos em que se procede à análise preliminar das características da bacia hidrográfica, especialmente quanto aos aspectos topográficos e hidrológicos, no sentido de verificar a disponibilidade para geração de energia elétrica.

Essa análise, exclusivamente pautada nos dados disponíveis, é feita em escritório e permite uma primeira avaliação do potencial e uma estimativa do aproveitamento da bacia hidrográfica.

Os seguintes estudos são executados:

- Estudos Topográficos
- Estudos Hidrológicos
- Estudos Hidrelétricos

Para a unidade de gerenciamento dos recursos hídricos do Médio Paranapanema, são abordados os estudos dos principais rios que compõem a bacia da região, não considerando os afluentes (ribeirões, riachos, ribeiras) e os tributários de até 3<sup>a</sup> ordem do rio Paranapanema. Assim, pertencem ao escopo do trabalho os rios: Pardo, Turvo, Novo, Pari e Capivara.

Os estudos topográficos e hidrológicos são executados para cada rio de acordo com a metodologia descrita adiante. Nos estudos hidrelétricos, a faixa de geração elétrica estudada é dividida em três intervalos, classificando-os de acordo com suas potências e características construtivas. Por fim, cruzam-se os dados obtidos com as faixas de potência definidas para a realização da estimativa do potencial hidrelétrico na bacia hidrográfica do Médio Paranapanema.

### **5.1. Estudos Topográficos**

A queda natural rios da bacia do Médio Paranapanema, citados acima, é determinada a partir dos estudos topográficos.

Os dados de queda natural de cada rio são levantados utilizando-se os mapas da rede hidrográfica do Estado de São Paulo e as folhas topográficas da região, encontrados no IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, conforme descritos a seguir:

- Determinação do comprimento total aproximado dos rios em estudo;
- Determinação aproximada das cotas de relevo.

O mapa hidrográfico, editado em 1992, está na escala 1:1.000.000 e as folhas topográficas na escala de 1:50.000, com equidistância das curvas de nível de 20 m. Em função disso, a precisão altimétrica para a determinação do potencial hidrelétrico está comprometida, visto que o ideal seria a utilização de mapas com cotas de altura menores, como diferenças de 10 m ou até mesmo 5 m para obter uma melhor aproximação. Como o IBGE e nenhum outro órgão do governo não possuem mapas em escala mais adequada ao estudo aqui descrito, os mapas encontrados são utilizados e garantem uma precisão suficiente para o trabalho proposto.

## **5.2. Estudos Hidrológicos**

Os estudos hidrológicos realizados compreendem basicamente a definição fisiográfica da bacia e do regime fluviométrico dos rios, mais especificamente a determinação da vazão mínima, ou vazão com 95% de probabilidade de ocorrência (Q95) nos locais em estudo, também chamada de vazão com 95% de permanência. Apresenta a vantagem de menor influenciar os erros operacionais e intervenções humanas no curso de água. Assim, esta vazão, captada a fio d'água é utilizada com freqüência, indicando a disponibilidade hídrica natural. Esta é a vazão considerada na estimativa do potencial hidrelétrico dos rios.

São adotados diferentes enfoques, como visto a seguir:

### **5.2.1. Coleta e Análise de Dados**

A coleta de dados fluviométricos e pluviométricos da bacia é realizada simultaneamente com a coleta das outras informações citadas. Nesta etapa do trabalho consulta-se os órgãos do governo federal e estadual capacitados e responsáveis, como a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o

Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), e o Comitê da Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema (CBH-MP), responsável pelo gerenciamento da unidade hidrográfica. O governo dispõe também de um Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH), que se encontra na internet no endereço [www.sigrh.sp.gov.br](http://www.sigrh.sp.gov.br) onde pode-se obter todos os dados necessários para o trabalho. Os dados são do tipo: hidrométricos (pluviométricos, fluviométricos e climatológicos) observados, históricos e fichas descritivas de estações e estudos hidrológicos já realizados;

Durante essa etapa defronta-se com diferentes situações, principalmente no que se refere à disponibilidade ou não da série de dados fluviométricos dos rios. No caso de haver disponibilidade desta, há ainda o problema de ser a mesma suficiente ou não quanto à qualidade e à extensão.

Inicialmente são analisados os postos fluviométricos das redes operadas pelo DAEE e DNAEE existentes na região. Os dados destes postos encontram-se nas **Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3** (DAEE, 1998, PRODESP, 1998 e DNAEE, 1996). De acordo com [7], de forma geral, nota-se precariedade na distribuição dos postos da rede do DAEE, tanto espacialmente (há áreas sem registro), quanto a seu período de leitura (sete dos apenas 13 postos existentes foram desativados até 1980). Assim, algumas regiões não estão cobertas sequer por um único posto, a exemplo do que ocorre nas áreas de contribuição dos rios São Mateus (sub-bacia do Capivara) e São João (sub-bacia do Turvo).

Código do Posto	Manancial	Unidade hidrográfica	UTM E-W (km)	UTM N-S (km)	Município	Início das leituras	Término das Leituras
6D-004	Novo	Novo	7.469,0	600,9	Salto Grande	Jun/58	Abr/64
5D-030	Pardo	Pardo	7.456,0	761,4	Pardinho	Dez/80	Dez/90
7D-011	Veado	Pari	7.496,8	582,2	Platina	Fev/79	Dez/90
6E-001	Paranapanema	Paranapanema VI-d	7.444,8	629,7	Chavantes	Jun/37	Mar/69
5D-011	das Pedras	Pardo	7460,2	730,7	Itatinga	Abr/60	Set/71
5D-010	das Pedras	Pardo	7.439,6	749,2	Itatinga	Abr/60	Set/71
6D-010	São João	Turvo	7.483,6	630,1	São Pedro do Turvo	Nov/80	Dez/90

**Tabela 5.1 - Dados dos postos fluviométricos do DAEE pertencentes ao Médio Paranapanema não escolhidos para os cálculos de disponibilidade hídrica superficial**  
 (adaptado de DAEE, 1998b e PRODESP, 1998).

Código do posto	Nome do posto	Manancial	Unidade hidrográfica	UTM N-S (km)	UTM E-W (km)	Município
7D-012	Alice	Capivari	Capivara	7.508,1	508,6	Rancharia
7D-013	Maracafá	Capivara	Capivara	7.598,8	532,5	Maracafá
7D-006	Sucui	Pari	Pari	7.476,6	570,1	Palmital
6D-009	Salto Grande	Novo	Novo	7.472,7	604,3	Salto Grande
6D-008	S. Pedro do Turvo	Turvo	Turvo	7.418,7	631,7	São Pedro do Turvo

**Tabela 5.2 - Dados dos postos fluviométricos do DNAEE pertencente ao Médio Paranapanema (DNAEE, 1996).**

Código do posto	Nome do posto	Município	Unidade hidrográfica	UTM N-S (km)	UTM E-W (km)	Município	Início das leituras	Final das leituras	$Q_{média}$ ( $m^3/s$ )	$Q_{mínima}$ ( $m^3/s$ )	$Q_{máxima}$ ( $m^3/s$ )	$Q_{1997}$ ( $m^3/s$ )
7D-012	Alice	Capivari	Capivara	7.508,1	508,6	Rancharia	Abr/79	Dez/97	6,55	5,36	9,32	9,46
7D-013	Maracaf	Capivara	Capivara	7.598,8	532,5	Maracaf	Set/79	Dez/97	18,58	14,16	32,98	23,19
7D-006	Sucui	Pari	Pari	7.476,6	570,1	Palmital	Ago/69	Dez/97	11,86	9,25	19,89	16,78
6D-009	Salto Grande	Novo	Novo	7.472,7	604,3	Salto Grande	Dez/70	Mar/80	11,84	8,67	19,58	-
6D-008	S. Pedro do Turvo	Turvo	Turvo	7.418,7	631,7	São Pedro do Turvo	Fev/70	Mar/80	43,57	30,16	74,43	-
6D-001	Sta Cruz do Rio Pardo	Pardo	Pardo	7.466,9	640,2	Sta Cruz do Rio Pardo	Dez/80	Mar/80	47,58	35,16	75,58	-

**Tabela 5.3 - Dados dos postos fluviométricos ao DAEE pertencentes ao Médio Paranapanema escolhidos para análise (adaptado de DAEE, 1998b e PRODESP, 1998).**

Por insuficiência de dados, precariedade e ainda períodos de amostragem muito antigos que alguns dos postos apresentam, as vazões com 95% de permanência dos rios da região do Médio Paranapanema são obtidas através do procedimento de regionalização hidrológica desenvolvido pelo DAEE (1988 e 1994). O procedimento efetua cálculos para avaliar a disponibilidade hídrica superficial de cada uma das unidades hidrográficas. A técnica de regionalização hidrológica tem-se mostrado instrumento muito ágil e importante nos estudos de planejamento e administração de recursos hídricos. Este método possibilita a obtenção de variáveis hidrológicas básicas, como vazões médias e mínimas, de maneira simples e rápida. Além disso, a estimativa dos valores das variáveis hidrológicas, para uma determinada bacia, baseada nos parâmetros regionais, parece ser, geralmente, mais razoável que a obtida em outro local. Finalmente, a regionalização simultânea de vários parâmetros, como a apresentada e desenvolvida pelo DAEE, permite definir, de maneira precisa e segura, as áreas hidrologicamente semelhantes. Algumas considerações teóricas a respeito poderão ser encontradas em [7] e [8]. O SIGRH possui na internet os recursos de regionalização hidrológica do Estado de São Paulo. Por ele ser bem completo em seus cálculos, utiliza-se praticamente como única ferramenta na

estimativa das vazões necessárias. Confrontam-se os resultados com os dados obtidos a partir dos postos fluviométricos, quando isso for possível.

#### 5.2.2. Fisiografia da Bacia e Regime Fluviométrico

As características físicas de uma determinada bacia são fatores importantes para a definição do regime hidrológico. Dentre elas recomenda-se que sejam determinadas:

- área de drenagem – através dos mapas. É a parte de uma bacia hidrográfica situada a montante de uma determinada seção transversal de um rio. Deverá ser traçada a linha de divisores das sub-bacias hidrográficas e, em seguida, calcular por planimetria a área de drenagem no local do estudo;
- declividade média do rio – através dos mapas. Conhecida a diferença de cota entre um ponto mais alto do rio e o ponto em estudo, calcula-se a declividade média daquele intervalo, dividindo-se o desnível pela extensão total desse trecho do curso d'água.

Na caracterização do regime fluviométrico deve-se cruzar as informações obtidas acima e utilizando-se os recursos do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo disponível na internet determina-se a vazão mínima do rio em determinados pontos conhecida como vazão com 95% de permanência (Q95). Essas informações permitem desenvolver os estudos analíticos de Hidrologia.

### 5.3. Estudos Hidrelétricos

#### 5.3.1. Determinação da Potência Aproveitável

A determinação da potência aproveitável é, na realidade, a determinação do potencial máximo que o local escolhido pode fornecer com as suas características topográficas de desnível (queda natural) e hidrológicas de vazão disponível do curso d'água.

Esse potencial em kW pode ser determinado através da Equação 1, supondo rendimentos constantes de 77 % para a turbina e de 95 % para o gerador:

$$P = 7,16 * H * Q \quad (1)$$

Onde:

$P$  = potência aproveitável, em kW;

$Q$  = vazão disponível do curso d'água, em  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$H$  = queda bruta, em m = diferença de nível entre o nível d'água previsto para o reservatório (açude) e o nível d'água do rio no local da casa de máquinas.

A queda bruta e a vazão são determinadas a partir dos estudos topográficos e hidrológicos realizados.

### 5.3.2. Definição da Potência a ser Instalada

A potência máxima que pode ser instalada é obtida através da Equação 2 definida abaixo:

$$P = 7,16 * H_L * Q \quad (2)$$

Sendo:

$H_L$  = queda líquida, em m;

Para uma perda de 5 % de altura d'água no sistema adutor, tem-se a Equação 3:

$$H_L = 0,95 * H \quad (3)$$

Assim,

$$P = 7,16 * (0,95 * H) * Q$$

E chega-se na Equação 4 da potência a ser instalada, em kW.

$$P = 6,80 * H * Q \quad (4)$$

Onde:

$P$  = potência a ser instalada, em kW;

$Q$  = vazão disponível do curso d'água, em  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$H$  = queda bruta, em m = diferença de nível entre o nível d'água previsto para o reservatório (açude) e o nível d'água do rio no local da casa de máquinas.

#### **5.4. Estimativa do Potencial Hidrelétrico**

O objetivo aqui é encontrar com a maior precisão possível os dados necessários aos cálculos do potencial hidrelétrico aproveitável dos rios estudados na bacia hidrográfica do Médio Paranapanema. Os potenciais hidrelétricos são estimados a partir de uma divisão dos rios em função da altura das quedas dos mesmos: alta, média e baixa queda. Cada um destes trechos é obtido a partir das curvas de nível do relevo da região.

Nas nascentes dos rios as cotas estão muito próximas umas das outras, demonstrando que em um curto comprimento do rio há um desnível alto. Este intervalo é definido como trecho de alta queda.

Conforme se caminha no sentido da foz do rio, as curvas de nível vão se afastando umas das outras e o volume de água do rio vai aumentando. Assim, é possível classificar os outros trechos de média queda e baixa queda.

Por essa definição realizam-se, conjuntamente, os estudos topográficos e hidrológicos da região.

Ainda para a estimativa dos potenciais hidrelétricos, classificam-se as centrais hidrelétricas de pequeno porte de acordo com a potência e limitam-se as suas características construtivas, de modo a abordar a faixa estudada de forma mais simples. Esse roteiro está melhor detalhado nos estudos hidrelétricos.

##### **5.4.1. Estudos Topográficos e Hidrológicos**

Analisa-se os mapas pesquisados e encontra-se o comprimento aproximado total dos rios estudados da região do Médio Paranapanema de acordo com a **Tabela 5.4** abaixo.

Rio (denominação)	Comprimento aproximado (km)
Pardo	270
Turvo	248
Novo	75
Pari	56
Capivara	103

**Tabela 5.4** - Comprimento aproximado dos rios estudados

Divide-se os rios em trechos classificados como de alta queda, média queda e, eventualmente, baixa queda. Aqui, em princípio, não é feito cálculo algum e as divisões são baseadas no bom senso e no conhecimento da leitura dos mapas, através das curvas de cota do relevo da região. Nota-se claramente que logo após a nascente de um rio e por um certo trecho, as curvas estão bem próximas uma das outras, demonstrando que em um curto comprimento do rio há um desnível alto. A declividade nesse trecho certamente é elevada. Este intervalo poder ser classificado como trecho de alta queda. Ao longo da continuidade do rio, as curvas de relevo vão se afastando à medida que o rio vai ganhando volume de água e se aproximando de sua foz. Assim, escolhe-se o primeiro trecho do rio onde as curvas de nível estejam mais ou menos igualmente espaçadas e classifica-o como trecho de alta queda. Em seguida, define-se outro trecho e assim sucessivamente. No final são obtidos nos mapas os pontos limítrofes dos intervalos de trechos de cada um dos rios, as coordenadas geográficas, as cotas de relevo nesses pontos e os comprimentos de cada trecho. Os dados estão indicados nas **Tabelas 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9** para cada um dos rios. A coordenada inicial do trecho 1 corresponde a um ponto bem próximo a nascente do rio e a coordenada final do último trecho um ponto próximo a sua foz.

Trecho Classificação	1 Alta queda		2 Média queda		3 Baixa queda	
	inicial	final	inicial	final	inicial	final
Coordenada (UTM)	769,2E 7443,5N	747,5E 7459,8N	747,5E 7459,8N	716,5E 7461,8N	716,5E 7461,8N	607E 7466N
Cota de relevo aproximada (m)	900	720	720	620	620	390
Comprimento aproximado (km)	40		48		182	

**Tabela 5.5** - Trechos e classificações do rio Pardo

Trecho Classificação	1 Alta queda		2 Baixa queda		3 Média queda	
	inicial	final	inicial	final	Inicial	final
Coordenada (UTM)	700,8E 7509N	686,5E 7502,5N	686,5E 7502,5N	648E 7487,5N	648E 7487,5N	615E 7463N
Cota de relevo aproximada (m)	540	500	500	480	480	390
Comprimento aproximado (km)	24		142		82	

**Tabela 5.6** - Trechos e classificações do rio Turvo

Trecho Classificação	1 Alta queda		2 Baixa queda		3 Média queda	
Coordenada (UTM)	inicial	final	inicial	final	inicial	final
615,8E 7519,35N	612,8E 7516,2N	612,8E 7516,2N	604,25E 7478,25N	604,25E 7478,25N	603E 7469N	
Cota de relevo aproximada (m)	540	500	500	420	420	390
Comprimento aproximado (km)	5		54		16	

**Tabela 5.7** - Trechos e classificações do rio Novo

Trecho Classificação	1 Média queda		2 Baixa queda	
Coordenada (UTM)	inicial	Final	inicial	final
581,25E 7495N	571,25E 7477,75N	571,25E 7477,75N	567,25E 7465,25N	
Cota de relevo aproximada (m)	400	360	360	340
Comprimento aproximado (km)	32		24	

**Tabela 5.8** - Trechos e classificações do rio Pari

Trecho Classificação	1 Média queda		2 Baixa queda	
	Inicial	final	inicial	final
Coordenada (UTM)	546,25E 7511,75N	539,75E 7506,75N	539,75E 7506,75N	502E 7480,75N
Cota de relevo aproximada (m)	400	360	360	270
Comprimento aproximado (km)	10		93	

**Tabela 5.9** - Trechos e classificações do rio Capivara

Os rios Pari e Capivara são divididos em apenas dois trechos devido à pequena diferença entre cotas de relevo que apresentam durante a maior parte das suas trajetórias. Além disso, a classificação dos trechos não inclui a alta queda, pois as nomeações dos rios iniciam-se após a convergência de rios e ribeirões menores e a formação de uma vazão d'água apreciável.

Agora, determina-se a declividade média de cada trecho, uma importante informação para os estudos finais. Supõe-se que a declividade média é constante ao longo dos trechos. Assim, calcula-se a declividade média pela diferença de cotas entre o início e o final de cada trecho e dividindo o valor do desnível pelo comprimento do rio neste intervalo. Os resultados são apresentados nas **Tabelas 5.10, 5.11, 5.12, 5.13 e 5.14** de cada rio.

Trecho	1	2	3
Desnível	180 m	100 m	230 m
Declividade média	4,50 m/km	2,08 m/km	1,26 m/km

**Tabela 5.10** - Declividade média do rio Pardo

Trecho	1	2	3
Desnível	40 m	20 m	90 m
Declividade média	1,67 m/km	0,14 m/km	1,10 m/km

**Tabela 5.11** - Declividade média do rio Turvo

Trecho	1	2	3
Desnível	40 m	80 m	30 m
Declividade média	8,00 m/km	1,48 m/km	1,87 m/km

**Tabela 5.12** - Declividade média do rio Novo

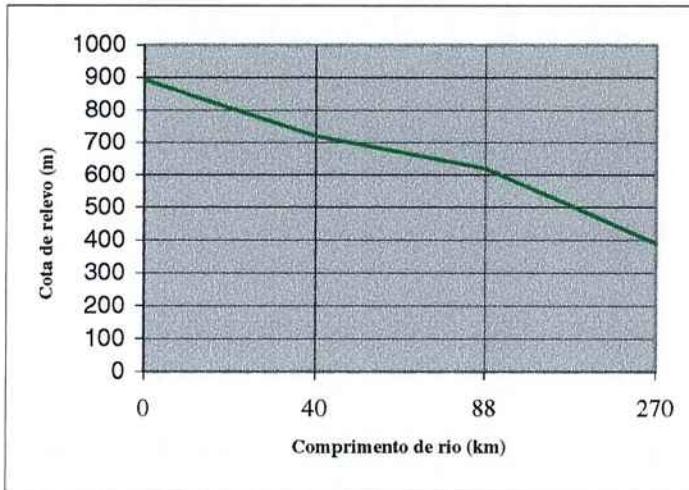
Trecho	1	2
Desnível	40 m	20 m
Declividade média	1,25 m/km	0,83 m/km

**Tabela 5.13** - Declividade média do rio Pari

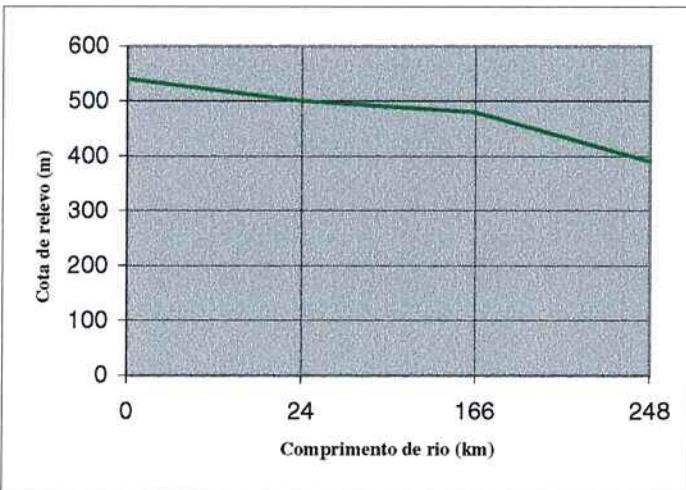
Trecho	1	2
Desnível	40 m	90 m
Declividade média	4,00 m/km	0,97 m/km

**Tabela 5.14** - Declividade média do rio Capivara

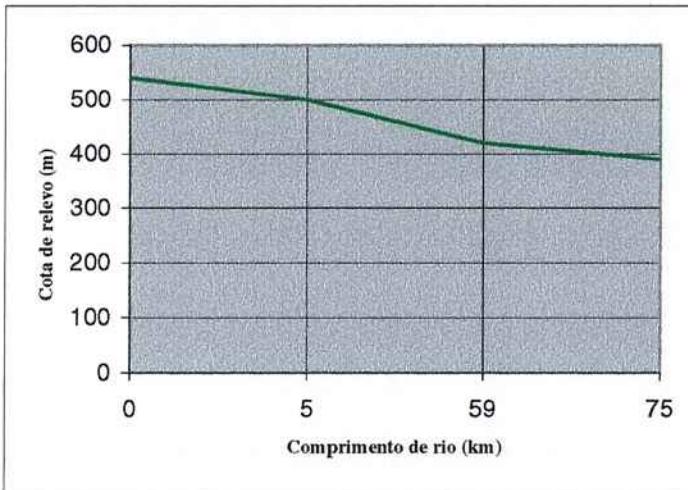
Nos **Gráficos 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5** são apresentadas as diferenças das cotas em função do comprimento dos rios.



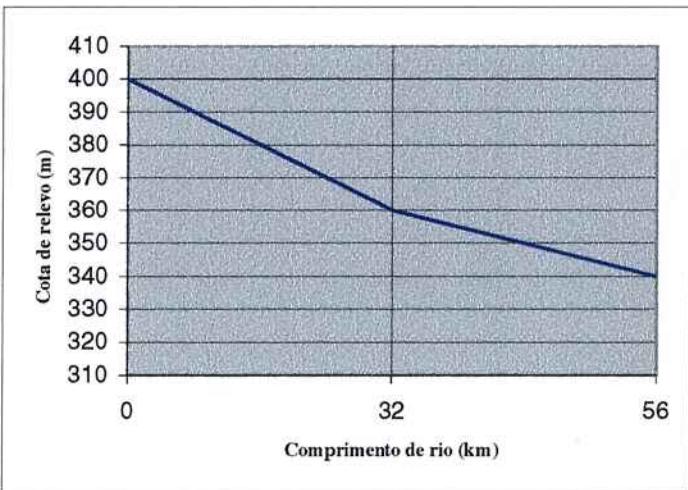
**Gráfico 5.1** - Perfil do rio Pardo.



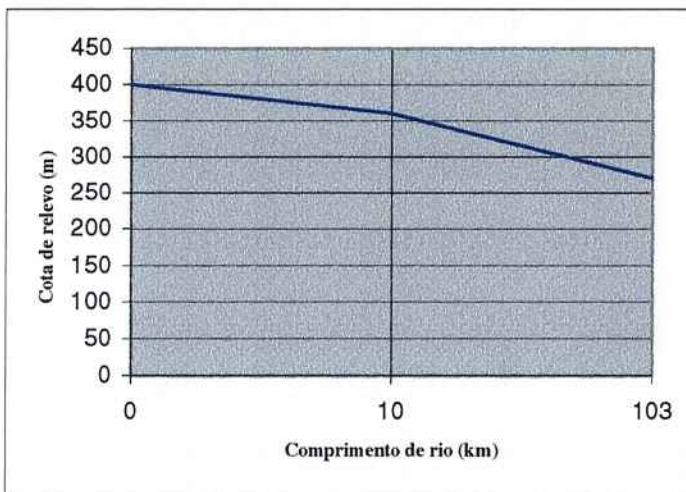
**Gráfico 5.2** - Perfil do rio Turvo.



**Gráfico 5.3 - Perfil do rio Novo.**



**Gráfico 5.4 - Perfil do rio Pari.**



**Gráfico 5.5** - Perfil do rio Capivara.

Estas curvas representam o desenho do perfil dos rios. Nestas vêem-se claramente os níveis de declividade dos rios, indicados pela declividade das curvas nos trechos classificados.

Com isso, determina-se a altura da queda de projeto de centrais hidrelétricas de pequeno porte nos principais rios da bacia hidrográfica do Médio Paranapanema.

Realiza-se agora o método de determinação da vazão mínima, ou vazão com 95% de permanência (Q95) em cada um dos pontos selecionados através dos estudos de regionalização hidrológica do Estado de São Paulo feito pelo DAEE.

Para usufruir os cálculos de estimativas de vazões do SIGRH são necessárias as coordenadas geográficas dos pontos desejados e a área de drenagem de cada ponto. Quanto às coordenadas, já haviam sido encontradas para todos os pontos limítrofes dos intervalos dos trechos de cada um dos rios. Para a área de drenagem dos pontos, são feitas aproximações baseadas na leitura de mapas da região. A área de drenagem inclui toda a extensão do rio e seus afluentes, desde a nascente até o ponto onde se deseja obter a vazão. Tendo em mãos os dados necessários, utilizam-se os recursos do SIGRH para obter as vazões nestes pontos em estudo. O SIGRH retorna uma série de dados, mas o que realmente interessa ao trabalho é a vazão com 95% de probabilidade de ocorrência (Q95). As **Tabelas 5.15, 5.16, 5.17, 5.18 e 5.19** mostram

os valores estimados para as vazões e as áreas de drenagem de cada ponto escolhido dos rios. O último valor da área de drenagem corresponde aos dados fornecidos no item 4.1, Tabela 4.1.

Trecho	1		2		3	
	inicial	Final	inicial	final	inicial	final
Coordenada UTM (km)	769,2E 7443,5N	747,5E 7459,8N	747,5E 7459,8N	716,5E 7461,8N	716,5E 7461,8N	607E 7466N
Área de drenagem aproximada (km <sup>2</sup> )	2	450	450	1000	1000	4668
Vazão com 95% de permanência (m <sup>3</sup> /s)	0,008	2,431	2,431	5,189	5,189	24,476

**Tabela 5.15** - Valores estimados de vazões e áreas de drenagem rio Pardo

Trecho	1		2		3	
	inicial	final	inicial	final	inicial	Final
Coordenada UTM (km)	700,8E 7509N	686,5E 7502,5N	686,5E 7502,5N	648E 7487,5N	648E 7487,5N	615E 7463N
Área de drenagem aproximada (km <sup>2</sup> )	3	300	300	1300	1300	4236
Vazão com 95% de permanência (m <sup>3</sup> /s)	0,016	1,569	1,569	6,836	6,836	21,973

**Tabela 5.16** - Valores estimados de vazões e áreas de drenagem rio Turvo

Trecho	1		2		3	
	Inicial	final	inicial	final	Inicial	final
Coordenada UTM (km)	615,8E 7519,4N	612,8E 7516,2N	612,8E 7516,2N	604,3E 7478,3N	604,3E 7478,3N	603E 7469N
Área de drenagem aproximada (km <sup>2</sup> )	7	37	37	700	700	1098
Vazão com 95% de permanência (m <sup>3</sup> /s)	0,047	0,246	0,246	3,700	3,700	5,794

**Tabela 5.17** - Valores estimados de vazões e áreas de drenagem rio Novo

Trecho	1		2	
	inicial	final	inicial	Final
Coordenada UTM (km)	581,3E 7495N	571,3E 7477,8N	571,3E 7477,8N	567,3E 7465,3N
Área de drenagem aproximada (km <sup>2</sup> )	380	850	850	1029
Vazão com 95% de permanência (m <sup>3</sup> /s)	1,651	3,637	3,637	4,405

**Tabela 5.18** - Valores estimados de vazões e áreas de drenagem rio Pari

Trecho	1		2	
	inicial	final	inicial	final
Coordenada UTM (km)	546,3E	539,8E	539,8E	502E
	7511,8N	7506,8N	7506,8N	7480,8N
Área de drenagem aproximada (km <sup>2</sup> )	780	1130	1130	3486
Vazão com 95% de permanência (m <sup>3</sup> /s)	3,371	4,863	4,863	15,134

**Tabela 5.19** - Valores estimados de vazões e áreas de drenagem rio Capivara

Com base nos estudos acima, são estimados os potenciais hidrelétricos das bacias hidrográficas dos principais rios da região do Médio Paranapanema como se segue.

#### 5.4.2. Estudos Hidrelétricos

Primeiramente, classificam-se as centrais de geração hidrelétrica quanto à potência: picocentrais, para sistemas de pequeno porte situados na faixa de 1 kW a 10 kW; microcentrais para sistemas de 10 kW a 100 kW; e minicentrais para a faixa de 100 kW a 500 kW de potência instalada. A classificação leva em conta as semelhanças construtivas entre as centrais hidrelétricas situadas entre os intervalos de potência definidos e ainda não é considerada registro oficial pelos órgãos do setor elétrico.

A metodologia de estimativa dos potenciais hidrelétricos das bacias dos rios estudados leva em conta algumas considerações e limitações estruturais para a estimativa desse potencial. A determinação da potência aproveitável é, na realidade, a determinação do potencial máximo que o local escolhido pode fornecer com as suas características topográficas de desnível (queda natural) e hidrológicas de vazão disponível do curso d'água.

A queda bruta e a vazão são determinadas a partir dos estudos topográficos e hidrológicos para os rios. Aqui são necessárias algumas limitações para as centrais hidrelétricas de pequeno porte:

- como simplificação, adota-se as centrais a fio d'água, ou seja, sem necessidade de um reservatório e que utiliza desvio para captação da vazão a ser turbinada.
- as estruturas preconizadas para o circuito de geração permitem descargas até  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  para as picocentrais;  $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$  para as microcentrais; e vazões máximas de  $8,0 \text{ m}^3/\text{s}$  para minicentrais hidrelétricas;
- supõe-se ainda que as centrais hidrelétricas, para qualquer das faixas de potência classificadas, sejam limitadas em seu porte construtivo, visando a economia nos custos dos projetos de modo a torná-las mais viáveis e determina-se que elas utilizem aproximadamente 300 metros de comprimento de um trecho do rio.

São dados a seguir os resultados obtidos do potencial hidrelétrico dos rios Pardo, Turvo, Novo, Pari e Capivara para as faixas de picocentrais, microcentrais e minicentrais geradoras de energia elétrica. Os valores encontrados estão sujeitos a variações e são válidos somente para centrais hidrelétricas com potências situadas entre 1 kW e 500 kW e para as definições citadas.

#### 5.4.2.1. Picocentrais Hidrelétricas

Para cada trecho de um rio existe uma queda bruta de projeto associada à declividade média no trecho e o comprimento do rio utilizado para a construção de uma central hidrelétrica de pequeno porte. Então, as quedas são obtidas dos valores calculados das declividades dos trechos dos rios e a limitação construtiva da central utilizando 300 metros de comprimento de um rio para sua implantação.

De acordo com a Equação (1), tomando-se a queda bruta calculada e admitindo uma potência aproveitável de 1 kW, encontra-se um valor de vazão mínima necessária para a caracterização de um trecho na obtenção de uma potência aproveitável da ordem de picocentrais hidrelétricas. As **Tabelas 5.20, 5.21, 5.22, 5.23 e 5.24** mostram os valores de queda bruta encontrados para 300 metros de cada trecho dos rios e a vazão mínima necessária nos trechos obtida a partir da Equação (1).

Levando-se em consideração as limitações impostas, vê-se a possibilidade de inserção de picocentrais hidrelétricas em todos os trechos dos rios Pardo, Novo e Capivara, nos trechos 1 e 3 do rio Turvo e no primeiro trecho do rio Pari.

Trecho	1	2	3
Queda bruta em 300 metros	1,35 m	0,62 m	0,38 m
Vazão mínima necessária para 1kW	0,103 m <sup>3</sup> /s	0,225 m <sup>3</sup> /s	0,368 m <sup>3</sup> /s

**Tabela 5.20** - Queda bruta e vazão mínima do rio Pardo

Comparando os valores de vazão obtidos nos estudos hidrológicos para os trechos do rio Pardo com os valores mínimos necessários para a geração de pelo menos 1 kW de potência, nota-se que o trecho 1, de certo ponto do rio adiante, apresenta um potencial hidrelétrico na faixa de picocentrais. O mesmo vale para os trechos seguintes durante todo o intervalo devido ao grande volume de água estabelecido no rio. Como os valores encontrados estão abaixo do limite imposto para picocentrais, isto é 0,5 m<sup>3</sup>/s, pode-se obter aproveitamentos maiores que 1 kW em todos os trechos do rio. O maior valor é obtido substituindo-se as quedas brutas dos trechos e a vazão máxima imposta na Equação (1). O primeiro trecho do rio corresponde ao de maior declividade média e, portanto, o de máxima potência aproveitável. Assim, a partir do trecho 1, encontra-se que a potência máxima aproveitável do rio Pardo para picocentrais hidrelétricas é de:

$$Potencial\_Pardo(pico) = 7,16 * 1,35 * 0,5 = 4,83kW$$

E para uma perda de 5% de altura d'água no sistema adutor, através de (4) encontra-se a potência máxima a ser instalada:

$$Potencial\_Pardo(pico) = 6,80 * 1,35 * 0,5 = 4,59kW$$

Para os outros dois trechos do rio Pardo, os maiores valores de potência hidrelétrica a serem geradas são 2,11 kW e 1,29 kW, para o segundo e terceiro trecho respectivamente. Assim, a faixa de geração elétrica no rio Pardo para picocentrais hidrelétricas de potências até 4,59 kW é viável.

Trecho	1	2	3
Queda bruta em 300 metros	0,50 m	0,04 m	0,33 m
Vazão mínima necessária para 1 kW	0,279 m <sup>3</sup> /s	3,492 m <sup>3</sup> /s	0,423 m <sup>3</sup> /s

**Tabela 5.21 - Queda bruta e vazão mínima do rio Turvo**

O rio Turvo apresenta no trecho 1 uma vazão que varia de 0,016 a 1,569 m<sup>3</sup>/s e vazões bem mais elevadas no trecho 3. Como os valores calculados estão abaixo de 0,5 m<sup>3</sup>/s e essa vazão é obtida a partir de certo ponto do trecho 1 e em qualquer altura do trecho 3 do rio, pode-se prever maiores aproveitamentos nesses trechos. Segundo a metodologia, a potência máxima aproveitável para picocentrais hidrelétricas é encontrada no trecho 1 e vale:

$$Potencial\_Turvo(pico) = 7,16 * 0,5 * 0,5 = 1,79kW$$

E a potência máxima a ser instalada no rio Turvo, em kW:

$$Potencial\_Turvo(pico) = 6,80 * 0,5 * 0,5 = 1,70kW$$

O trecho 3 do rio Turvo apresenta como maior potência a ser instalada o valor de 1,12 kW. Assim, a faixa de geração elétrica no rio Turvo para picocentrais hidrelétricas de potências até 1,70 kW é viável.

Trecho	1	2	3
Queda bruta em 300 metros	2,40 m	0,44 m	0,56 m
Vazão mínima necessária para 1 kW	0,058 m <sup>3</sup> /s	0,317 m <sup>3</sup> /s	0,249 m <sup>3</sup> /s

**Tabela 5.22 - Queda bruta e vazão mínima do rio Novo**

O rio Novo possui no início do trecho 1 uma vazão de 0,047 m<sup>3</sup>/s e no seu final cerca de 0,246 m<sup>3</sup>/s d'água. Como a vazão mínima necessária calculada para a picogeração hidrelétrica nesse trecho deve ser 0,058 m<sup>3</sup>/s, há a possibilidade de inserção desse tipo de central geradora até o maior valor de vazão dada, que é inferior ao limite de

0,5 m<sup>3</sup>/s. No restante do rio a vazão mínima necessária é bem menor em relação ao volume de água apresentado nesses trechos e, portanto, eles são aptos também à instalação de picocentrais. A potência máxima aproveitável é obtida no primeiro trecho do rio Novo através da queda bruta e da maior vazão do rio naquele trecho:

$$Potencial\_Novo(pico) = 7,16 * 2,40 * 0,246 = 4,23kW$$

A potência máxima a ser instalada no rio Novo, em kW é:

$$Potencial\_Novo(pico) = 6,80 * 2,40 * 0,246 = 4,01kW$$

Para os outros dois trechos do rio Novo, os maiores valores de potência hidrelétrica a serem geradas são 1,50 kW e 1,90 kW, para o segundo e terceiro trecho respectivamente. Assim, a faixa de geração elétrica no rio Novo de picocentrais hidrelétricas com potências até 4,01 kW é viável.

Trecho	1	2
Queda bruta em 300 metros	0,38m	0,25m
Vazão mínima necessária para 1 kW	0,368 m <sup>3</sup> /s	0,559 m <sup>3</sup> /s

**Tabela 5.23** - Queda bruta e vazão mínima do rio Pari

Quanto ao trecho 1 do rio Pari, o seu volume d'água é suficientemente grande para a inserção de picocentrais hidrelétricas de acordo com o calculado. A partir disso, a potência máxima aproveitável é:

$$Potencial\_Pari(pico) = 7,16 * 0,38 * 0,5 = 1,36kW$$

A potência máxima a ser instalada no rio Pari, em kW é:

$$Potencial\_Pari(pico) = 6,80 * 0,38 * 0,5 = 1,29kW$$

Assim, a faixa de geração elétrica no rio Pari para picocentrais hidrelétricas de potências até 1,29 kW é viável.

Trecho	1	2
Queda bruta em 300 metros	1,20 m	0,29 m
Vazão mínima necessária para 1 kW	0,116 m <sup>3</sup> /s	0,482 m <sup>3</sup> /s

**Tabela 5.24** - Queda bruta e vazão mínima do rio Capivara

O rio Capivara apresenta no trecho 1 uma vazão que varia de 3,371 a 4,863 m<sup>3</sup>/s. Como o valor mínimo necessário está abaixo de 0,5 m<sup>3</sup>/s e essa vazão pode ser obtida a qualquer altura do trecho 1 do rio, pode-se ter um aproveitamento máximo nesse trecho. Fazendo os cálculos para o rio Capivara, encontra-se que a potência máxima aproveitável para picocentrais hidrelétricas, é de:

$$Potencial\_Capi\ var\ a(pico) = 7,16 * 1,20 * 0,5 = 4,30kW$$

E a potência máxima a ser instalada no rio Capivara, em kW:

$$Potencial\_Capi\ var\ a(pico) = 6,80 * 1,20 * 0,5 = 4,08kW$$

Para o outro trecho do rio Capivara, o maior valor de potência hidrelétrica a ser gerado é de cerca de 1 kW. Assim, a faixa de geração elétrica no rio Capivara de picocentrais hidrelétricas com potências até 4,08 kW é viável.

#### 5.4.2.2. Microcentrais Hidrelétricas

Aplicando a mesma metodologia usada para a faixa de picocentrais, são realizados agora os cálculos para a caracterização da potência aproveitável dos rios estudados na faixa de geração de microcentrais hidrelétricas.

As **Tabelas 5.25, 5.26, 5.27, 5.28 e 5.29** abaixo mostram os valores de queda bruta encontrados para 300 metros de cada trecho dos rios e a vazão mínima necessária nos trechos obtida a partir da Equação (1), admitindo-se uma potência aproveitável de 10 kW.

Levando-se em consideração as limitações impostas, vê-se a possibilidade de inserção de microcentrais hidrelétricas a partir de uma vazão mínima de 1,035 m<sup>3</sup>/s, 0,582 m<sup>3</sup>/s e 1,164 m<sup>3</sup>/s nos trechos 1 dos rios Pardo, Novo e Capivara respectivamente. Este trecho corresponde ao de maior declividade média e, portanto,

a maior queda bruta em 300 metros de comprimento de rio. Assim, um ganho em altura de queda representa uma diminuição na vazão de projeto para se atingir uma geração hidrelétrica dessa ordem. Nos outros trechos o limite de vazão imposta nesse trabalho impede que as microcentrais sejam viáveis fisicamente e economicamente.

Trecho	1	2	3
Queda bruta em 300 metros	1,35 m	0,62 m	0,38 m
Vazão mínima necessária para 10 kW	1,035 m <sup>3</sup> /s	2,253 m <sup>3</sup> /s	3,675 m <sup>3</sup> /s

**Tabela 5.25** - Queda bruta e vazão mínima do rio Pardo

De acordo com os estudos hidrológicos, nota-se que o trecho 1 do rio Pardo possui uma vazão mínima de 0,008 m<sup>3</sup>/s no início e de 2,431 m<sup>3</sup>/s ao seu final. Como o valor calculado está abaixo do limite imposto para microcentrais, isto é, 2 m<sup>3</sup>/s, e o trecho 1 possui essa vazão em certa altura do rio, pode-se ter um aproveitamento máximo nesse trecho. Substituindo em (1) a queda bruta e a vazão limite máxima, encontra-se que a potência máxima aproveitável no rio Pardo, para microcentrais hidrelétricas, é de:

$$Potencial\_Pardo(micro) = 7,16 * 1,35 * 2 = 19,33kW$$

E para uma perda de 5 % de altura d'água no sistema adutor, através de (4) encontra-se a potência máxima a ser instalada:

$$Potencial\_Pardo(micro) = 6,80 * 1,35 * 2 = 18,36kW$$

Assim, a faixa de geração elétrica no rio Pardo de microcentrais hidrelétricas para potências até 18,36 kW é viável.

Trecho	1	2	3
Queda bruta em 300 metros	0,50 m	0,04 m	0,33 m
Vazão mínima necessária para 10 kW	2,793 m <sup>3</sup> /s	34,92 m <sup>3</sup> /s	4,232 m <sup>3</sup> /s

**Tabela 5.26** - Queda bruta e vazão mínima do rio Turvo

De acordo com a metodologia o rio Turvo não apresenta potencial aproveitável da ordem de microcentrais hidrelétricas.

Trecho	1	2	3
Queda bruta em 300 metros	2,40 m	0,44 m	0,56 m
Vazão mínima necessária para 10 kW	0,582 m <sup>3</sup> /s	3,174 m <sup>3</sup> /s	2,494 m <sup>3</sup> /s

**Tabela 5.27** - Queda bruta e vazão mínima do rio Novo

Para o rio Novo estima-se no início do trecho 1 uma vazão de 0,047 m<sup>3</sup>/s e no seu final cerca de 0,246 m<sup>3</sup>/s d'água. Como a vazão mínima necessária calculada para a microgeração hidrelétrica nesse trecho deve ser 0,582 m<sup>3</sup>/s, não se pode afirmar nada a respeito do rio Novo. O potencial hidrelétrico para essa faixa de potência não é garantido, pois a metodologia utilizada é baseada na declividade média do trecho, mas não aborda os pontos do rio que podem apresentar quedas brutas maiores que as citadas.

Trecho	1	2
Queda bruta em 300 metros	0,38 m	0,25 m
Vazão mínima necessária para 10 kW	3,675 m <sup>3</sup> /s	5,587 m <sup>3</sup> /s

**Tabela 5.28** - Queda bruta e vazão mínima do rio Pari

O rio Pari não apresenta potencial aproveitável da ordem de microcentrais hidrelétricas, de acordo com a metodologia.

Trecho	1	2
Queda bruta em 300 metros	1,20 m	0,29 m
Vazão mínima necessária para 10 kW	1,164 m <sup>3</sup> /s	4,816 m <sup>3</sup> /s

**Tabela 5.29** - Queda bruta e vazão mínima do rio Capivara

Já o rio Capivara apresenta no trecho 1 uma vazão que varia de 3,371 a 4,863 m<sup>3</sup>/s. Como o valor calculado está abaixo de 2 m<sup>3</sup>/s e essa vazão é obtida em qualquer altura do trecho 1 do rio, pode-se ter um aproveitamento máximo nesse trecho. Fazendo o cálculo para o rio Capivara, encontra-se que a potência máxima aproveitável para microcentrais hidrelétricas, é de:

$$Potencial\_Capi\ var a(micro) = 7,16 * 1,20 * 2 = 17,18kW$$

E a potência máxima a ser instalada no rio Capivara, em kW:

$$Potencial\_Capi\ var a(micro) = 6,80 * 1,20 * 2 = 16,32kW$$

Assim, a faixa de geração elétrica no rio Capivara para microcentrais hidrelétricas com potências até 16,32 kW é viável.

#### 5.4.2.3. Minicentrais Hidrelétricas

Realizam-se os mesmos cálculos feitos para as picocentrais e microcentrais na caracterização da potência aproveitável dos rios estudados na faixa de potência de minicentrais hidrelétricas.

As **Tabelas 5.30, 5.31, 5.32, 5.33 e 5.34** abaixo mostram os valores de queda bruta encontrados para 300 metros de cada trecho dos rios e a vazão mínima necessária nos trechos obtida a partir da Equação (1), admitindo-se uma potência aproveitável de 100 kW.

Levando-se em consideração as limitações impostas, vê-se a possibilidade de inserção de minicentrais hidrelétricas a partir de uma vazão mínima de 5,819 m<sup>3</sup>/s no trecho 1 do rio Novo. Nos outros trechos o limite construtivo e de vazão imposta nesse trabalho impedem que as minicentrais sejam viáveis fisicamente e economicamente.

Trecho	1	2	3
Queda bruta em 300 metros	1,35 m	0,62 m	0,38 m
Vazão mínima necessária para 100 kW	10,35 m <sup>3</sup> /s	22,53 m <sup>3</sup> /s	36,75 m <sup>3</sup> /s

**Tabela 5.30** - Queda bruta e vazão mínima do rio Pardo

O rio Pari não apresenta potencial aproveitável da ordem de minicentrais hidrelétricas, de acordo com a metodologia.

Trecho	1	2	3
Queda bruta em 300 metros	0,50 m	0,04 m	0,33 m
Vazão mínima necessária para 100 kW	27,93 m <sup>3</sup> /s	349,16 m <sup>3</sup> /s	42,32 m <sup>3</sup> /s

**Tabela 5.31** - Queda bruta e vazão mínima do rio Turvo

De acordo com a metodologia, o rio Turvo não apresenta potencial aproveitável da ordem de minicentrais hidrelétricas.

Trecho	1	2	3
Queda bruta em 300 metros	2,40 m	0,44 m	0,56 m
Vazão mínima necessária para 100 kW	5,819 m <sup>3</sup> /s	31,74 m <sup>3</sup> /s	24,94 m <sup>3</sup> /s

**Tabela 5.32** - Queda bruta e vazão mínima do rio Novo

O rio Novo apresenta uma vazão de 0,047 m<sup>3</sup>/s no início do trecho 1 e 0,246 m<sup>3</sup>/s ao seu final. A vazão mínima para se estabelecer uma minicentral hidrelétrica nesse trecho é de 5,819 m<sup>3</sup>/s. Portanto o trecho 1 do rio Novo também não é considerado apto a geração hidrelétrica desse porte, dadas as condições da metodologia apresentada.

Trecho	1	2
Queda bruta em 300 metros	0,38 m	0,25 m
Vazão mínima necessária para 100 kW	36,75 m <sup>3</sup> /s	55,87 m <sup>3</sup> /s

**Tabela 5.33** - Queda bruta e vazão mínima do rio Pari

De acordo com a metodologia, o rio Pari não apresenta potencial aproveitável da ordem de minicentrais hidrelétricas.

Trecho	1	2
Queda bruta em 300 metros	1,20 m	0,29 m
Vazão mínima necessária para 100 kW	11,64 m <sup>3</sup> /s	48,16 m <sup>3</sup> /s

**Tabela 5.34** - Queda bruta e vazão mínima do rio Capivara

O rio Capivara não apresenta potencial aproveitável da ordem de minicentrais hidrelétricas, de acordo com a metodologia.

#### 5.4.2.4. Considerações Finais

Todos os valores encontrados são estimados, já que as centrais são limitadas na construção de modo a torná-las mais econômicas. A precisão dos mapas analisados também impede um estudo mais apurado dos rios. Aqui não quer ser revelado um ou mais locais na região do Médio Paranapanema onde certamente há uma grande probabilidade de se utilizar o aproveitamento para geração de uma certa quantidade de energia elétrica. O estudo em questão quer indicar a disponibilidade ou não de potenciais aproveitáveis para a inserção de centrais hidrelétricas de pequeno porte na bacia hidrográfica. Uma vez que, de acordo com as especificações impostas, o potencial hidrelétrico seja estimado e comparado com a faixa de potência estudada, prova-se a viabilidade energética de instalação dessas centrais no Médio Paranapanema.

A faixa de geração elétrica para picocentrais hidrelétricas é a mais propícia a possuir aproveitamentos ao longo dos trechos dos rios da região do Médio Paranapanema. Certos trechos também possuem características de aproveitamento suficientes a geração na faixa de microcentrais. Os rios estudados não apresentam potenciais suficientes para a faixa de potência de minicentrais hidrelétricas de 100 a 500kW. É claro que os valores podem estar sujeitos a erros estimativos uma vez que pode ser encontrados, em algum ponto do rio, um trecho com uma declividade maior que a apresentada como média ou uma queda mais acentuada em determinado trecho do rio. A metodologia apresentada incorre em uma estimativa do potencial conservadora, associada à praticamente todo o rio.

É importante salientar que os valores acima mostram a possibilidade de extrair-se um valor de potência associado à faixa de empreendimento para cada aproveitamento construído ao longo de todo ou grande parte dos trechos dos principais rios da bacia hidrográfica. Visto nesse sentido, o valor total de potência elétrica possível de ser gerada nos trechos é muito superior. Neste ponto, vale a importância da geração hidrelétrica descentralizada na região.

## **6. ESTIMATIVA INICIAL DE CUSTO**

O procedimento recomendado neste item tem por objetivo apresentar uma metodologia para determinação do valor aproximado do investimento necessário para implantação das centrais hidrelétricas de pequeno porte. É definida uma curva de distribuição de custo estimado em função da potência instalada dos aproveitamentos. Vale lembrar que os preços unitários apresentados e o gráfico de custo têm seus valores expressos em dólares americanos referidos à data-base de outubro de 2002, com uma taxa de câmbio média de US\$ 1,00 = R\$ 4,00.

### **6.1. Metodologia**

A metodologia utilizada para o dimensionamento das estruturas nos estudos preliminares deve ser simplificada e os custos estimados de uma forma global, por estrutura, resultando em orçamentos também simplificados dos aproveitamentos das alternativas formuladas. Os custos das obras civis e equipamentos são agrupados em grandes blocos, de forma a obter mais facilmente o custo de um conjunto das obras, estruturas e serviços, possibilitando a montagem rápida do orçamento.

A principal finalidade do orçamento, em nível dos estudos preliminares, é a de possibilitar uma avaliação rápida, mesmo que aproximada, dos custos dos aproveitamentos, orientando as decisões de investimentos maiores em estudos mais detalhados e escolha de um determinado aproveitamento para construção de uma central hidrelétrica de pequeno porte.

Pela metodologia apresentada neste trabalho, os custos construtivos são obtidos através de custos unitários determinados a partir de estimativas juntamente com empreiteiros especializados em obras civis, utilizando-se equipamentos e materiais existentes no mercado. Os custos dos equipamentos eletromecânicos são estimados a partir de um fornecedor internacional existente para microcentrais hidrelétricas. Sugere-se um custo relativamente inferior para as picocentrais devido basicamente a menor quantidade de equipamentos envolvidos nesse tipo de geração elétrica. A mesma idéia é aplicada às minicentrais que possuem equipamentos mais sofisticados

e em maior quantidade tendo, portanto, um custo relativamente superior às microcentrais.

O conjunto dá uma idéia do custo de uma central hidrelétrica em função de sua potência a ser instalada, considerando a faixa de geração de 1 kW a 500 kW.

## 6.2. Parâmetros construtivos

O processo apresentado neste item pressupõe uma estimativa dos seguintes parâmetros construtivos, para caracterização dos aproveitamentos utilizados para a instalação de centrais hidrelétricas de pequeno porte:

- área construída da casa de máquinas, em  $m^2$ ;
- área construída da barragem-vertedouro (caso necessário);
- comprimento do canal de adução, incluindo a tubulação forçada, em m.

Alerta-se para o fato de que, dentre outras ressaltadas no texto, as centrais hidrelétricas em definição possuem as seguintes limitações, visando sempre a economia nos custos dos empreendimentos:

- admitem-se sistemas adutores somente com canais e/ou tubulações, não se aplicando a túneis;
- prevêem-se obras civis projetadas sem grandes sofisticações, com dimensões mínimas e materiais econômicos;
- considera-se instalação de equipamentos eletromecânicos simples, mas funcionais;
- admite-se que a distância do local do aproveitamento ao centro consumidor não é grande, para não aumentar o custo do sistema de transmissão;
- as dimensões da casa de máquinas e os diagramas elétricos são previstos para a instalação de apenas uma unidade geradora, o que pode ser considerado como um módulo a ser repetido caso se deseja mais de uma unidade geradora na mesma central;
- não é prevista a interligação das centrais a outros sistemas.

Supõe-se que as componentes das centrais hidrelétricas de pequeno porte são mais ou menos constantes em seu tamanho e na forma de construção. Dividem-se as centrais hidrelétricas de acordo com a classificação quanto à potência adotada anteriormente. É estabelecido um modelo de estruturas e arranjos padronizados para as centrais, o que na realidade não ocorre, pois o projeto de uma usina para um aproveitamento hidrelétrico se adapta às condições do local onde ele será implantado. O modelo é composto por todos os detalhes de uma usina desse porte o mais completa possível, de modo a obtermos no final um cálculo válido da estimativa inicial de custo associado a centrais hidrelétricas de pequeno porte.

### **6.3. Roteiro de Trabalho**

A estimativa inicial de custo, apresentada na etapa de estudos preliminares, deve ser feita segundo os principais componentes de uma usina hidrelétrica, dado abaixo. Eles abrangem todas as estruturas e equipamentos do aproveitamento, incluindo também os custos indiretos e juros durante a construção.

Pode-se custear uma central hidrelétrica de pequeno porte da seguinte maneira:

- Casa de máquinas – obras civis;
- Desvio do rio;
- Barragem;
- Canal adutor;
- Equipamentos eletromecânicos;
- Custo direto total;
- Custos indiretos;
- Custo total sem juros;
- Juros durante a construção e
- Custo total com juros.

### 6.3.1. Casa de máquinas

O custo de obras civis da casa de máquinas é fornecido em função da área construída, dado em US\$/m<sup>2</sup>.

O valor é baseado em uma construção de alvenaria. Caso haja possibilidade de execução da casa de máquinas em madeira ou em taipa, ou com reaproveitamento de materiais de edificações já existentes, ou ainda aproveitando a ociosidade de mão-de-obra e equipamentos disponíveis para outras tarefas, etc., dever-se-á levar em conta essas hipóteses, adotando-se, consequentemente, custos reduzidos em relação ao valor apresentado.

### 6.3.2. Desvio do rio

Prevê-se que o desvio do rio é necessário apenas no caso de barragem ser construída. As microcentrais hidrelétricas, por serem de pequeníssimo porte em relação às pequenas centrais hidrelétricas, PCHs, necessitam a construção de uma barragem pequena, apenas no sentido de regularizar o nível d'água do rio e garantir o fornecimento total da potência instalada na usina.

### 6.3.3. Barragem

O custo da barragem é dado em função da área construída, em US\$/m<sup>2</sup>. O valor é baseado em uma barragem de pedra argamassada pequena. Alerta-se para o fato de que, caso tivesse sido adotado barragem de terra e canal extravasor, as obras teriam dimensões reduzidas e, portanto, sem um valor de investimento significativo. Aqui se escolhe um arranjo de microcentral que mais encarecesse seu custo, como garantia de se chegar a um valor bem aproximado do investimento necessário a uma microcentral.

### 6.3.4. Canal adutor

O canal adutor pode ser tanto em canal aberto ou em tubulação. O custo aqui engloba toda a captação d'água desde a barragem (quando houver) até a casa de máquinas. O custo associado é dado em US\$/m de construção ou tubulação, independente se feito

por um ou outro esquema. O custo apresentado refere-se à tubulação metálica especialmente adquirida para o projeto de uma microcentral, ou para um canal adutor em alvenaria ou pedra argamassada. Caso haja possibilidade de reduzir o custo, reaproveitando-se material já utilizado para outras finalidades, ou adotando-se outros tipos de materiais (PVC, etc.), tal fato deverá ser devidamente analisado e levado em consideração.

#### 6.3.5. Equipamentos eletromecânicos

O custo é fornecido em função da potência a ser instalada, dado em US\$/kW. O valor inclui turbina, regulador de velocidade, transmissão, comporta, válvula borboleta, volante de inércia, curva de succão, tubo de succão, grade, gerador e quadro de comando, com os devidos equipamentos de proteção e controle da geração elétrica. Quando o projeto admitir simplificações, como a não utilização do regulador automático de velocidade, ou a substituição de comportas metálicas por pranchões de madeira, o custo global dos equipamentos poderá sofrer redução significativa. Nesta hipótese, o caso deverá ser analisado em particular e deverão ser adotados valores adequados para o projeto.

#### 6.3.6. Custo Direto Total

O custo direto total corresponde à soma das contas relativas aos itens anteriores.

#### 6.3.7. Custos Indiretos

Adota-se para este cálculo, que representa os custos referentes a canteiro e acampamento, engenharia e administração do proprietário, o valor global obtido a partir de percentuais aplicados sobre o custo direto total. Considera-se cerca de 20 % do custo direto total, incluindo-se o transporte dos equipamentos, ferramentas e materiais para a construção de uma central hidrelétrica de pequeno porte.

#### 6.3.8. Custo Total sem Juros

O custo total sem juros corresponde à soma do custo direto total e os custos indiretos.

### **6.3.9. Juros Durante a Construção e Custo Total com Juros**

O custo financeiro do capital investido é calculado com uma taxa de juros de 10 % ao ano, a partir de um plano de desembolso estimativo para os vários períodos de construção. Considera-se adequado o período de um ano completo de construção das centrais hidrelétricas de pequeno porte a uma taxa de juros, portanto, de 10 %.

O custo total com juros representa o valor correspondente ao acréscimo da taxa de juros sobre o custo total sem juros.

### **6.4. Orçamento em nível preliminar**

A partir das limitações já impostas nos itens anteriores e seguindo a metodologia e o roteiro de trabalho apresentado, define-se o orçamento em nível preliminar, que apresenta o cálculo completo do custo e o seu valor unitário para as centrais hidrelétricas de pequeno porte de acordo com as faixas de potência classificadas anteriormente.

Algumas considerações e estimativas de parâmetros são feitas para cada faixa de modo a assegurar um valor adequado dos custos dessas centrais em função da potência a ser instalada. Porém, como definido, as componentes das centrais hidrelétricas de pequeno porte possuem características semelhantes no tamanho e na construção. Assim, limita-se os custos para as três faixas adotando-se:

- a barragem das centrais hidrelétricas com a mesma área construída;
- o mesmo comprimento de canal de adução;
- igual valor para os custos indiretos dos projetos;
- o mesmo juros durante a construção para as três faixas de potência.

São dados a seguir os parâmetros definidos para as faixas de picocentrais, microcentrais e minicentrais e suas estimativas de custo inicial. Os valores encontrados estão sujeitos a variações e são validos somente para as centrais com potências situadas entre 1 kW e 500 kW.

#### 6.4.1. Picocentrais hidrelétricas

Para as centrais hidrelétricas de 1 kW a 10 kW, o custo inicial é baseado nas seguintes hipóteses:

- o custo para a obra civil da casa de máquinas sendo 50 R\$/m<sup>2</sup> de área construída. Supõe-se uma construção de 20 m<sup>2</sup>, suficientes para abrigar bem todos os equipamentos eletromecânicos de uma picocentral;
- o custo da mão-de-obra para a execução de um canal de desvio do rio sugerido para esse caso é de R\$ 700. Esse valor é baseado na concepção de que a obra executada seja num trecho do rio com pouco volume de água, sem muitos problemas com a alteração da sua trajetória;
- supõe-se uma barragem pequena de regularização da vazão e do nível d'água com custo estimado de construção 200 R\$/m<sup>2</sup>. Estima-se que a barragem possui cerca de 30 m<sup>2</sup> de área construída;
- sugere-se um preço de 30 R\$/m como estimativa de custo das obras do canal de adução. Quanto à metragem desse canal ou tubulação, um valor de aproximadamente 300 metros de canal adutor é valido para o cálculo;
- considera-se o valor de 700 US\$/kW como estimado para os equipamentos eletromecânicos de uma picocentral para o cálculo inicial do custo.

A partir daí prepara-se o orçamento inicial do custo de picocentrais em função da potência a ser instalada, listado a seguir:

- Casa de Máquinas = R\$ 1.000 = US\$ 250;
- Desvio do rio = R\$ 700 = US\$ 175;
- Barragem = R\$ 6.000 = US\$ 1.500;
- Canal adutor = R\$ 9.000 = US\$ 2.250 e
- Equipamentos eletromecânicos = 700 US\$/kW.

E chega-se aos custos totais, em US\$, em função da potência a ser instalada P. O custo direto total é dado pela Equação 5 abaixo:

$$Custo\_direto = 4175 + 700 * P \quad (5)$$

O custo direto total encontrado é valido apenas para a faixa de potência de 1 kW a 10 kW e para as definições adotadas.

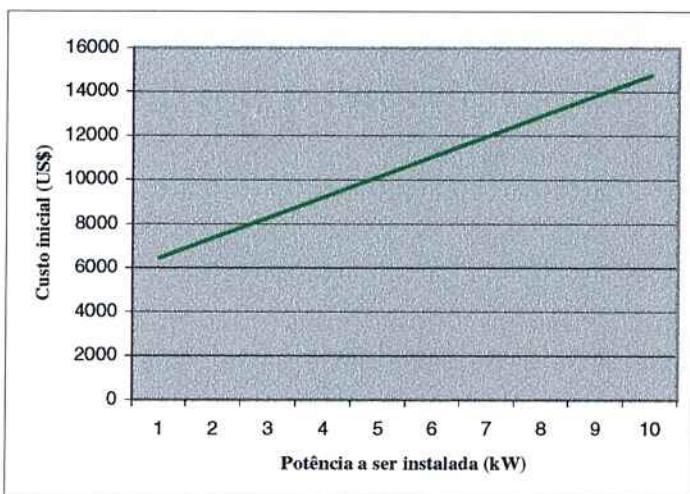
O custo total sem juros, em US\$, para 20 % de custo indireto sobre o custo direto vale (Equação 6):

$$Custo\_sem\_juros = 5010 + 840 * P \quad (6)$$

E o custo total com juros, em US\$, supondo que a construção seja finalizada em um ano completo com 10 % sobre o custo total sem juros (Equação 7):

$$Custo\_com\_juros = 5511 + 924 * P \quad (7)$$

O **Gráfico 6.1** mostra a estimativa inicial de custo em função da potência a ser instalada para picocentrais hidrelétricas, situadas na faixa de potência de 1 kW a 10 kW.



**Gráfico 6.1** - Custo inicial de picocentrais hidrelétricas.

Os custos unitários de instalação associados aos empreendimentos de 1 kW e 10 kW são encontrados através da Equação (7), dividindo o resultado do custo inicial pela potência instalada P. O resultado é expresso em US\$/kW. Assim (Equação 8 abaixo),

$$Custo\_unitario\_instalação(P) = \frac{Custo\_com\_juros}{P} \quad (8)$$

E os valores encontrados a partir de (8) são:

$$Custo\_unitario\_instalação(1kW) = 6435US\$/kW$$

$$Custo\_unitario\_instalação(10kW) = 1475US\$/kW$$

Nota-se uma grande diferença de custos unitários para a implementação de uma geração hidrelétrica desse porte. A variação certamente é causada pela utilização de grandes quantidades de obras civis para uma pequena quantidade de potência a ser instalada, no caso do custo unitário para 1 kW de potência. Fazendo a média dos custos unitários extremos da faixa especificada, encontra-se o custo unitário geral estimado para instalação de picocentrais hidrelétricas.

$$Custo\_unitario\_instalação(pico) = 3955US\$/kW$$

Para criar uma familiaridade com o valor do custo encontrado, isto é, um nível de percepção mais apurado do resultado de modo a comparar a competitividade econômica de uma planta geradora desse tipo, calcula-se o custo unitário de geração de energia, em US\$/kWh. O custo unitário de geração é um parâmetro econômico fundamental na comparação de projetos e aferição de sua viabilidade, expressando a relação entre os custos anuais da planta e sua produção garantida (Equação 9).

$$Custo\_unitario\_geração = \frac{Custo\_anual\_investimento}{Energia\_garantida} \quad (9)$$

O custo anual de investimento a ser considerado é (Equação 10):

$$Custo\_anual\_investimento = Custo\_unitario\_instalação * P * FRC \quad (10)$$

Onde,

$P$  = potência instalada, em kW;

$FRC$  = fator de recuperação de capital.

O custo anual apresentado está simplificado e trata apenas do custo de implantação de uma central hidrelétrica desse porte. Por insuficiência de dados para maiores estimativas, o custo de operação e manutenção está sendo desprezado. O fator de

recuperação de capital habitualmente considerado para esse tipo de empreendimento é de 15 %.

A energia garantida é expressa por (Equação 11):

$$Energia\_garantida = P * FC * 8760 \quad (11)$$

Sendo,

$P$  = potência instalada, em kW;

$FC$  = fator de capacidade da central hidrelétrica.

O fator de capacidade é a relação entre a potência média gerada ( $P_{MÉDIO}$ ) e a potência instalada da central ( $P$ ), variando de 0 a 1. Visto pelo lado da demanda, e o fator de carga associado ao(s) consumidor(es) conectado(s) ao sistema gerador. Portanto (Equação 12),

$$FC = \frac{P_{MÉDIA}}{P} \quad (12)$$

Para o caso de picocentrais hidrelétricas, estima-se que durante a maior parte do período de funcionamento a geração seja próxima ao valor da potência instalada, visto que a faixa de potência não é elevada. Neste caso, o fator de capacidade é alto, da ordem de 0,8.

A partir dos conceitos apresentados calcula-se pelas Equações (9), (10) e (11) o custo unitário de geração para picocentrais dado por (Equação 13):

$$Custo\_unitario\_geração(pico) = \frac{Custo\_unitario\_instalação(pico) * FRC}{FC * 8760} \quad (13)$$

$$Custo\_unitario\_geração(pico) = 0,085\text{US\$/kWh}$$

#### 6.4.2. Microcentrais hidrelétricas

Para as centrais hidrelétricas de 10 kW a 100 kW, o custo inicial é baseado nas seguintes hipóteses:

- o custo para a obra civil da casa de máquinas sendo 50 R\$/m<sup>2</sup> de área construída. Supõe-se uma construção de 50 m<sup>2</sup>, suficientes para abrigar bem todos os equipamentos eletromecânicos de uma microcentral;
- o custo da mão-de-obra para a execução de um canal de desvio do rio sugerido para esse caso é de R\$ 1.000. Esse valor é baseado na concepção de que a obra executada seja num trecho do rio também sem grande volume de água, não sendo necessário grandes mudanças em sua trajetória;
- supõe-se uma barragem pequena de regularização da vazão e do nível d'água com custo estimado de construção 200 R\$/m<sup>2</sup>. Estima-se que a barragem possui cerca de 30 m<sup>2</sup> de área construída;
- sugere-se um preço de 50 R\$/m como estimativa de custo das obras do canal de adução. Quanto à metragem desse canal ou tubulação, um valor de aproximadamente 300 metros de canal adutor é válido para o cálculo;
- considera-se o valor de 1.000 US\$/kW como estimado para os equipamentos eletromecânicos para cálculo inicial do custo.

A partir daí prepara-se o orçamento inicial do custo de microcentrais em função da potência a ser instalada, listado a seguir:

- Casa de Máquinas = R\$ 2.500 = US\$ 625;
- Desvio do rio = R\$ 1.000 = US\$ 250;
- Barragem = R\$ 6.000 = US\$ 1500;
- Canal adutor = R\$ 15.000 = US\$ 3.750 e
- Equipamentos eletromecânicos = 1.000 US\$/kW.

E chega-se aos custos totais, em US\$, em função da potência a ser instalada P. O custo direto total é (Equação 14):

$$Custo\_direto = 6125 + 1000 * P \quad (14)$$

O custo direto total encontrado é valido apenas para a faixa de potência de 10 kW a 100 kW e para as definições adotadas.

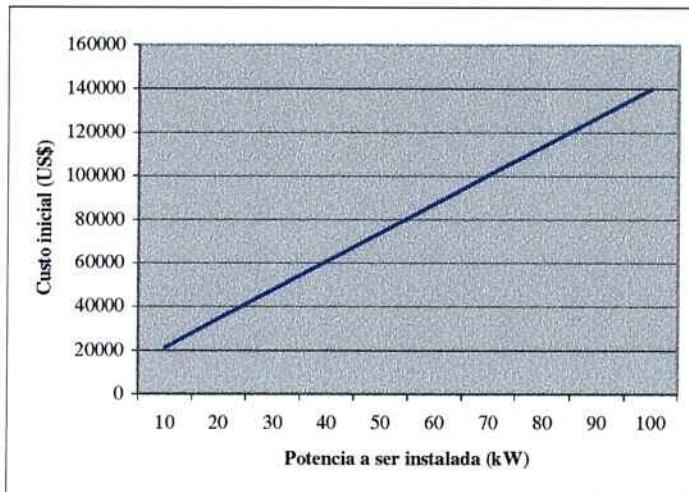
O custo total sem juros, em US\$, para 20 % de custo indireto sobre o custo direto vale (Equação 15):

$$Custo\_sem\_juros = 7350 + 1200 * P \quad (15)$$

E o custo total com juros, em US\$, supondo que a construção seja finalizada em um ano completo com 10 % sobre o custo total sem juros (Equação 16):

$$Custo\_com\_juros = 8085 + 1320 * P \quad (16)$$

O Gráfico 6.2 mostra a estimativa inicial de custo em função da potência a ser instalada para microcentrais hidrelétricas, situadas na faixa de potência de 10 kW a 100 kW.



**Gráfico 6.2** - Custo inicial de microcentrais hidrelétricas.

Os custos unitários associados aos empreendimentos de 10 kW e 100 kW são encontrados através de (16) e dividindo o resultado do custo inicial pela potência instalada P. Assim (Equação 17),

$$Custo\_unitario(P) = Custo\_com\_juros / P \quad (17)$$

E os valores encontrados a partir de (17) são:

$$Custo\_unitario(10kW) = 2129US\$/kW$$

$$Custo\_unitario(100kW) = 1401US\$/kW$$

Nota-se uma grande diferença de custos unitários para geração hidrelétrica desse porte. A variação certamente é causada pela utilização de grandes quantidades de obras civis para uma pequena quantidade de potência a ser instalada, no caso do custo unitário para 10 kW de potência. Fazendo a média dos custos unitários extremos da faixa especificada, encontra-se o custo unitário geral estimado para microcentrais hidrelétricas.

$$Custo\_unitario(micro) = 1765US\$/kW$$

Seguindo o mesmo roteiro de cálculo utilizado nas picocentrais, define-se o custo unitário de geração de microcentrais hidrelétricas (Equação 18):

$$Custo\_unitario\_geração(micro) = \frac{Custo\_unitario\_instalação(micro) * FRC}{FC * 8760} \quad (18)$$

Sendo,

$FRC$  = fator de recuperação de capital;

$FC$  = fator de capacidade da central hidrelétrica.

O fator de recuperação de capital é de 15 %, o mesmo do caso anterior. Estima-se que devido à faixa de potência, as microcentrais hidrelétricas possuem um fator de capacidade de 0,5. O custo unitário de geração de microcentrais é:

$$Custo\_unitario\_geração(micro) = 0,060US\$/kWh$$

#### 6.4.3. Minicentrais hidrelétricas

Para as centrais hidrelétricas de 100 kW a 500 kW, o custo inicial é baseado nas seguintes hipóteses:

- o custo para a obra civil da casa de máquinas sendo 50 R\$/m<sup>2</sup> de área construída. Supõe-se uma construção de 70 m<sup>2</sup>, suficientes para abrigar bem todos os equipamentos eletromecânicos de uma minicentral;
- o custo da mão-de-obra para a execução de um canal de desvio do rio sugerido para esse caso é de R\$ 3.000. Esse valor é baseado na concepção de

que a obra executada seja num trecho do rio com maior volume de água que os anteriores, já que é nesses trechos onde provavelmente poderá ser inserida uma minicentral;

- supõe-se uma barragem pequena de regularização da vazão e do nível d'água com custo estimado de construção 200 R\$/m<sup>2</sup>. Estima-se que a barragem possui cerca de 30 m<sup>2</sup> de área construída;
- sugere-se um preço de 70 R\$/m como estimativa de custo das obras do canal de adução. Quanto à metragem desse canal ou tubulação, um valor de aproximadamente 300 metros de canal adutor é válido para o cálculo;
- considera-se o valor de 1.200 US\$/kW como estimado para os equipamentos eletromecânicos para cálculo inicial do custo.

A partir daí prepara-se o orçamento inicial do custo de minicentrais em função da potência a ser instalada, listado a seguir:

- Casa de Máquinas = R\$ 3.500 = US\$ 875;
- Desvio do rio = R\$ 3.000 = US\$ 750;
- Barragem = R\$ 6.000 = US\$ 1.500;
- Canal adutor = R\$ 21.000 = US\$ 5.250 e
- Equipamentos eletromecânicos = 1.200 US\$/kW.

E chega-se aos custos totais, em US\$, em função da potência a ser instalada P. O custo direto total é (Equação 19):

$$Custo\_direto = 8375 + 1200 * P \quad (19)$$

O custo direto total encontrado é valido apenas para a faixa de potência de 100 kW a 500 kW e para as definições adotadas.

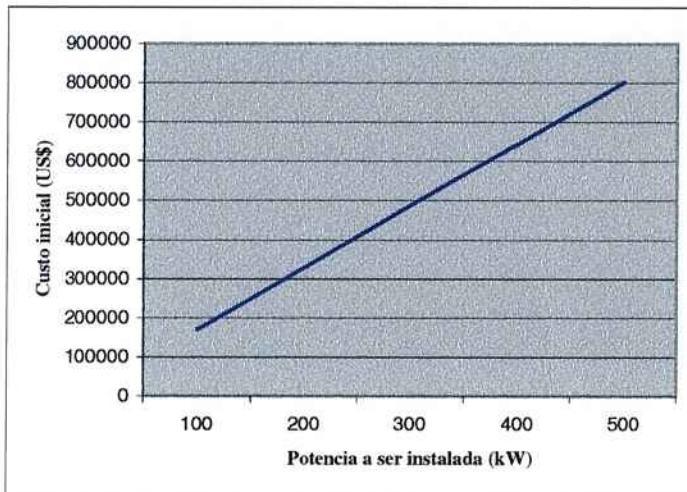
O custo total sem juros, em US\$, para 20 % de custo indireto sobre o custo direto vale (Equação 20):

$$Custo\_sem\_juros = 10050 + 1440 * P \quad (20)$$

E o custo total com juros, em US\$, supondo que a construção seja finalizada em um ano completo com 10 % sobre o custo total sem juros (Equação 21):

$$Custo\_com\_juros = 11055 + 1584 * P \quad (21)$$

O Gráfico 6.3 mostra a estimativa inicial de custo em função da potência a ser instalada para minicentrais hidrelétricas, situadas na faixa de potência de 100 kW a 500 kW.



**Gráfico 6.3 - Custo inicial de minicentrais hidrelétricas**

Os custos unitários associados aos empreendimentos de 100 kW e 500 kW são encontrados através de (21) e dividindo o resultado do custo inicial pela potência instalada P. Assim (Equação 22),

$$Custo\_unitario(P) = Custo\_com\_juros / P \quad (22)$$

E os valores encontrados a partir de (22) são:

$$Custo\_unitario(100kW) = 1695US\$/kW$$

$$Custo\_unitario(500kW) = 1606US\$/kW$$

Nota-se uma grande diferença de custos unitários para geração hidrelétrica desse porte. A variação certamente é causada pela utilização de grandes quantidades de

obras civis para uma pequena quantidade de potência a ser instalada, no caso do custo unitário para 100 kW de potência. Fazendo a média dos custos unitários extremos da faixa especificada, encontra-se o custo unitário geral estimado para minicentrais hidrelétricas.

$$Custo\_unitario(min\ i) = 1651US\$/kW$$

Finalmente, o custo unitário de geração de minicentrais hidrelétricas é (Equação 23):

$$Custo\_unitario\_geração(min\ i) = \frac{Custo\_unitario\_instalação(min\ i) * FRC}{FC * 8760} \quad (23)$$

Sendo,

*FRC* = fator de recuperação de capital;

*FC* = fator de capacidade da central hidrelétrica.

O fator de recuperação de capital é de 15 %, o mesmo dos casos anteriores. As minicentrais hidrelétricas pertencem a uma faixa de potência de certa forma elevada, na maioria dos casos com mais de um consumidor local beneficiando-se da energia elétrica gerada. Assim, utiliza-se um fator de capacidade tradicionalmente estimado como fator de carga de consumidores residenciais e rurais de cerca de 0,4. O custo unitário de geração de minicentrais vale:

$$Custo\_unitario\_geração(min\ i) = 0,071US\$/kWh$$

#### 6.4.4. Considerações Finais

A estimativa inicial de custo descrita acima para as três faixas de potência classificadas mostra a viabilidade econômica na implantação de cada um dos tipos de centrais hidrelétricas de pequeno porte avaliadas.

De acordo com os valores encontrados, o custo unitário de instalação para centrais hidrelétricas de pequeno porte é tanto menor quanto maior a capacidade de potência instalada. Quanto aos custos unitários de geração, as microcentrais levam a vantagem de possuírem o menor custo por energia gerada. A geração hidrelétrica menos acessível economicamente situa-se na faixa de picocentrais. Apesar dos dados estimados satisfatórios utilizados nos cálculos, isso leva a crer que as microcentrais

hidrelétricas possuem uma maior viabilidade econômica de implantação em relação às duas outras faixas classificadas.

O estudo proposto é de caráter estimativo e pode sofrer alterações em seu valor, dependendo do tipo de aproveitamento, da estrutura de montagem da usina, as distâncias entre as componentes constituintes, os materiais utilizados na construção, o porte das mesmas e a distância entre os centros de consumo e o local do aproveitamento.

## **7. USO DESCENTRALIZADO DE PEQUENOS RECURSOS HÍDRICOS**

### **7.1. Aspectos Energéticos**

As centrais hidrelétricas de pequeno porte podem não ser ligadas a uma rede de transmissão de energia, pois a potência elétrica gerada é baixa em relação as grandes geradoras hidrelétricas. Além disso, o custo de conexão a um sistema elétrico é alto, exigindo construções e equipamentos mais sofisticados e acarretando numa inviabilidade econômica dessas centrais hidrelétricas. A transmissão da energia gerada representa outro problema: o investimento em uma linha de transmissão para levar ao consumidor essa energia eleva-se com o aumento da distância entre a produção e o consumo. Ainda, são necessários transformadores elevadores de tensão e equipamentos de proteção para a linha e isso acaba por aumentar sensivelmente os gastos. Assim, investimentos em linhas de transmissão, subestações elevadoras e outros equipamentos são dispensados quando as centrais hidrelétricas não possuem um sistema de transmissão. Por isso, centrais de pequeno porte, geralmente, são destinadas a consumidores locais e próximos da usina. A vantagem de uma geração isolada é poder ter o próprio nível de tensão nominal de geração, em muitos casos projetadas para atender a tensão de uso do consumidor local.

### **7.2. Aspectos Ambientais**

Na implantação de sistemas hidrelétricos de pequeno porte, é necessário verificar uma série de itens quanto aos aspectos ambientais. No rio, no qual será aproveitada a energia, deve-se verificar os seguintes pontos:

- Mudança no leito. Deve-se verificar se, com a construção do sistema hidrelétrico, o rio vai ter suas margens ajustadas, desviando o curso natural da água. Caso muitos ajustes sejam necessários e o rio sofrer muitas mudanças, o alvará de construção da obra poderá não ser concedido.
- Vazão da água. Não é permitida a mudança da vazão de água natural do rio, pois outras comunidades podem utilizar os recursos do rio num ponto de nível mais baixo e mais próximo da sua foz. E caso isso ocorra, o abastecimento de água pode ser prejudicado.

- Desova dos peixes. É necessário verificar o processo de desova dos peixes do rio antes da construção dos sistemas. Os peixes depositam seus ovos na nascente do rio, portanto não pode ser barrado o fluxo natural dos seres vivos aquáticos, não modificando, assim, o ecossistema do local.

É importante fazer uma comparação do impacto ambiental causado por um sistema hidrelétrico de pequeno porte e do causado por pequenas centrais hidrelétricas com potência de 1 MW a 30 MW. As PCHs necessitam de um grande volume de água represada e, portanto, é necessário verificar os pontos que serão cobertos por água. Para isso, um estudo geográfico de verificação das cotas de nível do relevo local deve ser feito para poder visualizar os pontos alagados. Já os sistemas hidrelétricos de pequeno porte, muitas vezes, não necessitam represar a água, o que torna a implantação de centrais hidrelétricas bem menos danosa ao meio ambiente.

### **7.3. Aspectos Sociais**

A sociedade pode se beneficiar em diversos pontos quando ocorre a implantação de uma central hidrelétrica de pequeno porte. Em muitos casos, é interessante considerar outros usos da água além de apenas a geração de energia elétrica. As possibilidades de uso múltiplo do reservatório são examinadas abaixo:

- 1 – Abastecimento de água;
- 2 – Agricultura de vazante;
- 3 – Agricultura irrigada;
- 4 – Pesca em geral;
- 5 – Piscicultura intensiva.

Caso se preveja o uso do reservatório para fins de abastecimento de água a populações e lazer, deverá ser verificado se a água apresenta características adequadas a esses fins (através da coleta e exame de amostras em laboratório de órgão especializado). Deve-se definir as providências para controlar o despejo de esgotos sanitários ou industriais na bacia.

Outro fator que pode ser realizado é uma espécie de sociedade da energia gerada. Vizinhos de propriedades podem juntar-se e realizarem a implantação de uma central

hidrelétrica com investimentos acordados entre eles. Com isso, o custo de implantação pode ser rateado entre os sócios e a energia gerada pode ser distribuída para os mesmos.

Apesar de a tecnologia de baixo custo não contemplar reservatórios para acumulação e regularização sensíveis, pode ser recomendável, por exemplo, estudar-se a viabilidade econômica do projeto de centrais de pequeno porte em conjunto com um açude para irrigação, ao mesmo tempo em que se prestaria à piscicultura, criação de aves, abastecimento d'água, lazer, etc., bem como implantação de algum tipo de beneficiamento da produção local. Neste caso, pode ser necessária uma reavaliação de todo o projeto, visando analisar-se a viabilidade dessa implantação, o que pode ser obtido com o apoio de entidades de fomento como, por exemplo, a EMATER, a SUDEPE (Superintendência de Desenvolvimento da Pesca, entidades estaduais diversas, a CAMIG (esta em Minas Gerais) e outros.

#### **7.4. Aspectos Políticos**

A legislação brasileira classifica os aproveitamentos hidrelétricos em dois tipos, conforme a finalidade da energia produzida:

- serviços públicos;
- uso exclusivo.

Os aproveitamentos destinados aos serviços públicos são aqueles cuja energia elétrica gerada, independentemente da potência da usina, se destina ao uso geral, sendo para isso comercializada pelo seu produtor, ou seja, a Concessionária de serviços públicos. Dependem sempre, portanto, de uma concessão outorgada pelo governo federal.

Já os aproveitamentos destinados ao uso exclusivo são aqueles cuja energia elétrica gerada se destina ao uso exclusivo de seu produtor, que no caso é denominado Autoprodutor. Podem depender simplesmente de uma notificação para fins estatísticos, ou de autorização federal, ou ainda de uma concessão federal, conforme o valor da potência instalada.

Os interessados em aproveitamentos hidrelétricos para uso exclusivo deverão ter a propriedade da área onde será construída a central, inclusive as inundadas pelo eventual reservatório, ou obter uma autorização dos proprietários ribeirinhos.

A notificação acima referida é feita através de correspondência ao Diretor-Geral do DNAEE, contendo as seguintes informações:

- nome do notificante ou razão social e sede;
- localização da micro central, definindo o rio, o município e o estado;
- fins a que se destina a energia;
- capital investido;
- data do início da geração;
- características da instalação;
- altura da queda utilizada;
- descarga máxima aproveitada ( $m^3/s$ );
- turbinas (número, tipo, potência);
- geradores (número, tipo, potência em kW e tensão em kV);
- dados da barragem (tipo, comprimento em m, altura em m);
- dados da tomada d'água e do cana; adutor (tipo, comprimento em m, altura em m);
- tubulação (extensão em m, diâmetro em m, material);
- transformadores (tensão em kW, capacidade em kVA);
- tensão de linha e da rede de distribuição (em kV);
- declaração de propriedade das terras onde se localiza a central em questão, incluindo as inundadas pela mesma e
- outras observações julgadas necessárias.

Seguem abaixo alguns incentivos à geração descentralizada:

- Necessitam apenas de autorização da ANEEL para a implantação;
- Redução, de no mínimo 50%, para as tarifas de uso dos Sistemas Elétricos de Transmissão e Distribuição;
- Garantida participação nas vantagens técnicas e econômicas da operação interligada;
- Isenção de pagamento da compensação financeira pelo uso de recursos hídricos;
- Tensão nominal de geração diferenciada;
- Tarifa de backup para geradores ligados à carga (cogeração).

## 7.5 Considerações Finais

O uso de múltiplos sistemas hidrelétricos descentralizados traz grandes benefícios para a sociedade como um todo. Isso porque, na maioria das vezes, esses sistemas descentralizados são implantados próximos às cargas, ou seja, a geração está fisicamente junta dos consumidores de energia. A implantação de pequenos recursos hídricos, não só na região do Médio Paranapanema, mas no Brasil como um todo, provoca uma grande redução no investimento em linhas de transmissão e em subestações. Com isso, pode ser mais viável economicamente implantar diversos sistemas hidrelétricos descentralizados em uma certa região a construir linhas de transmissão e distribuição para atender os consumidores.

Na região do Médio Paranapanema, o potencial hídrico para a implantação de sistemas hídricos é enorme como visto nos capítulos anteriores. Junto com isso, esta região possui um mercado consumidor bastante interessante, pois na região existem diversas fazendas agropecuárias. Esse tipo de consumidor é muito indicado para aproveitar esses potenciais hídricos devido ao seu consumo de energia elétrica. Portanto, é recomendada e aconselhada a construção de sistemas hidrelétricos de pequeno porte no Médio Paranapanema.

Portanto, a matriz energética brasileira deve ser muito bem analisada para melhor distribuir a energia a toda população brasileira, evitando ao máximo gastos

desnecessários, principalmente, em linhas de transmissão e de distribuição e em subestações.

## **8. CONCLUSÕES**

A partir dos estudos preliminares de estimativa do potencial hidrelétrico da bacia hidrográfica do Médio Paranapanema para a faixa de potencia de 1 kW a 500 kW, conclui-se: há a possibilidade de implementação de picocentrais hidrelétricas em todos os rios estudados, sendo viável a inserção em qualquer um dos trechos qualificados dos rios Pardo, Novo e Capivara; as microcentrais podem ser inseridas sempre no primeiro trecho, o de mais alta queda, dos rios Pardo e Capivara; não existe um potencial hidrelétrico nos rios estudados para minicentrais de faixa de potencia entre 100 kW e 500 kW. De acordo com as definições de custos para essas centrais de geração hidrelétrica de pequeno porte, as microcentrais hidrelétricas são consideradas projetos economicamente mais vantajosos por apresentarem menores custos unitários de geração.

Vale lembrar que o trabalho realizado não pode ser tomado como um estudo definitivo e dados mais precisos devem ser obtidos para uma melhor avaliação das características hídricas e geográficas da região. A continuidade desses estudos requer o desenvolvimento de equipamentos e tecnologias construtivas visando o menor custo dos projetos e o investimento de pessoas interessadas na geração elétrica desse porte.

## **9. BIBLIOGRAFIA**

- [1] Amaral de Almeida Prado Jr.; Fernando, Abijaode Amaral, Cristiano (Organizadores) – Pequenas Centrais Hidrelétricas no Estado de São Paulo – Comissão de Serviços Públicos de Energia (CSPE) – 2000
- [2] Muller, Arnaldo Carlos – Hidrelétricas, Meio Ambiente e Desenvolvimento – Editora Makron Books – 1996
- [3] Filho, Geraldo Lúcio Tiago; Viana, Augusto Nelson Carvalho; Lopes, José Dermeval Saraiva – Como Montar e Operar uma Microusina Hidrelétrica na Fazenda – Centro de Produções Técnicas (CPT) – 2000
- [4] Manual de Minicentrais Hidrelétricas – Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRÁS)/DNAEE – 1984
- [5] Manual de Microcentrais Hidrelétricas – Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRAS)/DNAEE – 1984
- [6] Schreiber, Gerhard P. – Usinas Hidrelétricas – Editora Edgard Blucher Ltda. – 1987
- [7] Relatório Zero da Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema - Comitê da Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema (CBH-MP)/CORHI – 1997
- [8] Regionalização Hidrológica do Estado de São Paulo – DAEE – 1988 e 1994 em [www.sigrh.sp.gov.br](http://www.sigrh.sp.gov.br)