

Gabriel Bozzola Guitarrara

Estimativa de vazão para a implantação de micro-centrais hidrelétricas com utilização do SIG

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola de Engenharia de São
Carlos, da Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase
em Sistemas de Energia e Automação

ORIENTADOR: Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad

São Carlos

2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

G968e

Guitarrara, Gabriel Bozzola
Estimativa de vazão para a implantação de
micro-centrais hidrelétricas com utilização do SIG /
Gabriel Bozzola Guitarrara; orientador Frederico Fábio
Mauad. São Carlos, 2012.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2012.

1. Pequenas centrais hidrelétricas. 2. Sistema de
informação geográfica. 3. Regionalização de vazões. 4.
Aproveitamentos hídricos. 5. Topografia. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Gabriel Bozzola Guitarrara

Título: “Estimativa de vazão para a implantação de micro-centrais hidrelétricas, com utilização do SIG”

*Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 30/11/2017*

com NOTA (6,5), pela Comissão Julgadora:

*Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad (Orientador)
SHS/EESC/USP*

*Prof. Dr. Tadeu Fabrício Malheiros
SHS/EESC/USP*

*Prof. Dr. Dennis Brandão
SEL/EESC/USP*

**Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Homero Schiabel**

Dedico

aos meus pais Paulo e Edna

e ao meu irmão Leandro

AGRADECIMENTOS

Ao meu Pai, Paulo, e ao meu irmão Leandro, por estarem sempre ao meu lado.

Ao Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad, pela orientação.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica.

A todos os meus amigos que estiveram presentes em minha vida.

A minha mãe, Edna, em especial, por acreditar em mim até quando nem eu mesmo era capaz de acreditar.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	8
CAPÍTULO 2: PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS	10
2.1 – Programa Nacional de PCHs (PNPCHs).....	10
2.2 Regulamentação da produção de energia para o caso das PCHs.....	11
2.3 Características das Pequenas Centrais Hidrelétricas	13
2.4 Tipos de PCHs.....	14
2.4.1 Pequena central de baixa queda.....	14
2.4.2 Pequena central afastada da queda	15
2.4.3 Pequena central afastada da queda e sem canal.....	15
2.4.4 Pequena central com alta queda e próxima da barragem	16
2.5 Componentes básicos das PCHs	17
2.5.1 Barragem	17
2.5.2 Tomada d’água.....	17
2.5.3 Sistema de Adução	17
2.5.4 Câmara de carga	18
2.5.5 Chaminé de equilíbrio	18
2.5.6 Casa de máquinas	18
2.5.7 Turbina	18
2.5.8 Gerador.....	18
2.6 Custos básicos	19
2.7 Determinação do Potencial de uma PCH em projeto	20
2.7.1. Altura de Queda do Projeto	21
2.7.2. Regularização de Vazões	22
2.7.3 Determinando o fator de carga	23
2.8 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	24
2.8.1. Software IDRISI.....	25
CAPÍTULO 3: APLICAÇÃO DE UM EXEMPLO PRÁTICO DE ESTUDO SOBRE UMA PCH....	26
3.1. Material Empregado.....	26
3.2. Área de Estudo	26
3.3. Potencial Hidráulico da Área em Estudo	27
3.3.1. Seleção dos Locais Potencialmente Interessantes	27
3.3.2. Determinando a Vazão de Projeto.....	31

3.3.3. Cálculo da Potêncial Hidrálico das Quedas Pré-selecionadas.....	35
CAPÍTULO 4: CONCLUSÕES.....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Arranjo típico para PCHs de baixa queda.....	15
Figura 2: Arranjo típico de uma pequena central afastada da queda.....	16
Figura 3: Arranjo típico para uma pequena central afastada da queda e quando não é possível adotar canal.....	16
Figura 4: Arranjo típico para pequena central com alta queda e próxima da barragem.....	17
Figura 5: Mapa da rede de distribuição de energia e infra-estrutura viária da região em estudo.....	28
Figura 6: Mapa hipsométrico e da rede hidrográfica.....	29
Figura 7: Imagem para vizualização da região em estudo em perspectiva.....	30
Figura 8: Mapa de declividades reclassificadas para definição da quedas em potencial.....	32
Figura 9: Áreas de contribuição relativa às quedas estudadas.....	33
Figura 10: Curva de permanência de vazões mensais do posto fluviométrico Santa Catarina.....	34
Figura 11: Curva de permanência de vazões mensais do posto fluviométrico Agroceres.....	35

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Classificação de centrais hidrelétricas.....	13
TABELA 2: Custo percentual de uma mini central (Bortolan).....	19
TABELA 3: Método expedito de cálculo da altura líquida.....	22
TABELA 4: Características dos Postos Fluviométricos Agroceres e Santa Catarina.....	31
TABELA 5: Valores de vazões regionalizadas dos postos Agroceres e Santa Catarina.....	35
TABELA 6: Potencial hidráulico de quedas a fio d'água, resolução do pixel (50m x 50m).....	36
TABELA 7: Distância encontrada entre as quedas e a rede de distribuição de energia elétrica de alta tensão.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CESP	Companhia Energética de São Paulo
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
DEPRN	Depaertamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais da Secretaria Estadual de Meio Ambiente
DNAEE	Depertamento de Águas e Energia Elétrica
ELETROBRÁS	Centrais Elétricas Brasileiras
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espacias
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
TVR	Trecho de Vazão Reduzida
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>

RESUMO

Este trabalho foi direcionado ao cálculo da vazão de rios, usando estes dados para determinar a viabilidade econômica da implementação de uma PCH (Pequenas Central Hidrelétrica) em rios ou pequenos cursos d'água em geral. São apresentadas algumas características gerais das pequenas centrais hidrelétricas, para posteriormente apresentar técnicas para a averiguação de vazões médias de rios, da escolha de localidades propícias para a implantação de aproveitamentos de pequeno porte, e do potencial possível de ser instalado nestes locais selecionados. Para tanto utilizou-se métodos para o cálculo de potências estabelecido pelo ELETROBRÁS (1985), e o Sistema de Informações Geográficas (SIG) para a determinação do índice de vazões de rios, a fim de se avaliar a viabilidade de implementação de usinas hidrelétricas de pequeno porte.

Palavras Chave: Pequenas centrais hidrelétricas, Sistema de Informação Geográfica, regionalização de vazões, aproveitamentos hídricos, topografia

ABSTRACT

This work was directed to calculate the flow of rivers, using these data to determine the economic feasibility of implementing a small hydroelectric station in rivers in general. Are some general characteristics of small hydroelectric plants, later to present techniques for the investigation of average flow rate of rivers, the choice of favorable locations to the establishment of small hydroelectric station, and the potential which can be installed in these selected locations. For such methods were used to calculate the potential established by ELETROBRÁS (1985), and Geographic Information System (GIS) to determine the index of the flow of rivers, in order to assess the feasibility of implementation of small hydro power plants.

Keywords: Small hydro plants, geographic information system, regionalization of stream flow, water exploitations, topography

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

O mundo está inserido em um contexto de consumo crescente de energia, o que demanda cada vez mais centrais produtoras. Por outro lado procura-se cada vez mais alcançar o conceito de desenvolvimento sustentável, o qual vai na contramão das centrais geradoras térmicas convencionais (óleo, carvão mineral e gás), extremamente poluidoras. Por isso busca-se alternativas para tais unidades geradoras, além de uma maior diversificação das matrizes energéticas globais, o que sempre foi desejável.

Algumas dessas alternativas começam a ser implementadas a um ritmo razoavelmente lento como as usinas eólicas, outras ainda se mostram claramente inviáveis, principalmente no âmbito financeiro, como as usinas solares. Usinas nucleares tem se mostrado uma opção, mas sempre é vista com ressalvas por parte da sociedade devido ao risco de um acidente em grande escala e suas horríveis consequências, como os ocorridos em Chernobyl na Ucrânia e recentemente em Fukushima no Japão. Por estas razões, usinas hidráulicas se apresentam, ainda hoje, como uma boa alternativa para a geração de energia.

Assim como qualquer tipo de empreendimento energético, é impossível gerar impacto zero ao meio ambiente. Mas realizando estudos preliminares e ações durante e depois da sua realização, pode-se minimizar tais impactos. Neste ponto hidrelétricas alteram o curso de rios e alagam áreas muitas vezes consideráveis, porém após serem instaladas, não poluem como as térmicas convencionais. O Brasil em particular, por possuir recursos hídricos abundantes, busca usufruir ao máximo de tais recursos para a produção da eletricidade.

Durante anos o governo brasileiro optou por priorizar a implantação de grandes centrais hidráulicas, mas hoje as bacias mais próximas dos centros consumidores se mostram muito saturadas deste tipo de empreendimento, inviabilizando futuras intalações de grande porte em tais rios. Ainda assim há um potencial hidráulico capaz de ser explorado nestas bacias, os referentes aos pequenos rios, ou seja, é possível aumentar a geração de energia hidráulica por meio de pequenas centrais hidrelétricas (PCH). Pensando em aproveitar tal potencial, o governo do Brasil começou a incentivar possíveis investidores privados a implantar PCH's. Hoje com a crescente demanda industrial e agrícola brasileira e os incentivos governamentais, investidores privados tem mostrado um grande interesse em pequenos empreendimentos de geração hidráulica, visando principalmente o consumo próprio, mas não excluindo a possibilidade de vender o excedente, se houver, de energia gerada, permitindo também o uso múltiplo da água a ser represada.

Ao contrário das grandes usinas, as pequenas centrais hidrelétricas funcionam com a vazão fornecida pelo curso d'água, a fio d'água, não havendo necessidade de alteração do curso natural da água e do regime hidrológico da região ou de grandes áreas de alagamento. Logo, as PCH's são uma boa alternativa devido aos seus baixos impactos e a implementação do sistema interligado.

Uma vez que a energia gerada na PCH é integrada ao sistema interligado nacional (compondo uma grande rede de energia), em tese, ela pode ser consumida em qualquer lugar do país. Na prática, há um aumento da confiabilidade de fornecimento e na qualidade da energia junto ao sistema na qual a usina está conectada, pois esta é instalada mais próxima ao seu centro consumidor. A eletricidade gerada por estas pequenas usinas pode servir ainda para o abastecimento de comunidades isoladas, as quais, por diversas particularidades, não são supridas por linhas do sistema interligado.

De acordo com o guia do Empreendedor de Pequenas Centrais Hidrelétricas (ANEEL, 2003), as vantagens das PCHs podem ser exemplificadas pelas seguintes constatações:

- sua construção e operação só dependem de autorização da ANEEL (nos demais casos, há exigência de leilão para concessão da exploração da queda d'água);
- podem comercializar energia elétrica livremente com consumidores de carga igual ou maior que 500kW (os demais agentes só podem comercializar com clientes cujo consumo seja igual ou superior a 3000kW);
- as PCHs não pagam a compensação financeira pela utilização de recursos hídricos;
- as PCHs têm prazo de implantação menor que as hidrelétricas de maior porte, e o impacto ambiental que provocam é bastante reduzido;
- as PCHs têm livre acesso às redes de transmissão, desde que respeitem as características do sistema;
- PCHs geram energia na tensão de distribuição;
- aproveitamento na própria região;
- demandam pequeno volume de investimentos.

Diante de tais vantagens, fica claro o papel importante das pequenas centrais hidrelétricas na matriz nacional como alternativa às grandes usinas geradoras as quais imprimem impactos ambientais consideráveis nas áreas em que são instaladas. Mas decidir investir em uma PCH denota primeiramente estudos de viabilidade locais, uma vez que não é qualquer curso d'água capaz de gerar para uma mini central hidrelétrica.

Pensando nisto, será proposto a seguir um método para estimar a vazão de rios e utilizar tais dados para se estimar um local para instalação de uma PCH e seu potencial de instalação, determinante para a viabilidade destes empreendimentos.

CAPÍTULO 2: PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

Este capítulo tem por objetivo fornecer informação sobre as necessidades principais de usinas hidrelétricas de pequeno porte, os parâmetros orientativos referentes a análise dos locais mais propícios de instalação, expondo algumas disposições dos elementos que influenciam o desempenho e a evolução da pesquisa sobre PCHs.

2.1 – Programa Nacional de PCHs (PNPCHs)

No ano de 1984 foi aprovado pelo Governo brasileiro o Programa Nacional de PCHs com tais objetivos:

- redução do consumo de derivados de petróleo na geração de energia elétrica;
- alternativa para energização rural nos casos em que se apresenta mais competitividade que as extensões de redes de transmissão;
- suprimento à indústria de tecnologia que utiliza intensamente a eletricidade, em regiões dotadas de matéria prima, onde possa substituir a instalação de linhas de transmissão;
- realização de projetos com curto prazo de maturação, possibilitando a rápida e melhor distribuição de investimentos;
- utilização de fatores de produção locais, incluindo forte demanda de mão-de-obra não especializada;
- utilização de equipamentos de fabricação brasileira.

Centrais de pequeno porte também representam uma importância no desenvolvimento social, principalmente em países em desenvolvimento. Estes países apresentam, em maior escala, a existência de comunidades isoladas, as quais podem experimentar de um grau maior de desenvolvimento quando atendidos por uma rede de energia elétrica (hoje um recurso essencial para o desenvolvimento humano), e esta necessidade pode ser suprida por PCHs a custos menores do que a construção de linhas que conectariam tais comunidades a cidades ou distritos vizinhos. Ressalta-se também o fato de PCHs se integrarem ao sistema com impacto quase mínimo ao ecossistema.

Algumas características tornam o Brasil um país propício a implementação de PCHs, dentre elas destacam-se:

- características hidrológicas, topográficas e geológicas altamente favoráveis a instalação de pequenas centrais hidráulicas;

- domínio tecnológico no estudo, projeto, construção, fabricação e operação de PCHs, por parte das empresas brasileiras, a baixos custos e alta rentabilidade;
- existência de milhares de pequenos núcleos populacionais e empreendimentos rurais pequenos, onde uma PCH geraria desenvolvendo;
- existência de programas sociais dos governos Federal, Estadual e Municipal de finalidades de usos múltiplos, nos quais a PCH se insere de maneira integrada.

2.2 Regulamentação da produção de energia para o caso das PCHs

Em termos de viabilidade na implementação de PCHs no Brasil analisar a regulamentação da comercialização e produção de energia é algo de muita relevância. Para aumentar o interesse de investidores privados na instalação de minicentrais foi implementada uma lei de incentivo. A Lei nº 9.074, de junho de 1995, regulamenta a produção de energia elétrica por produtor independente e por autoprodutor, a qual considera:

- Produtor Independente de energia elétrica, a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebem concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia, por sua conta e risco;
- Autoprodutor de energia elétrica, a pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam autorização ou concessão para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo.

Ainda dependem de concessão de uso de bem público, precedida de licitação:

- O aproveitamento de potencial hidráulico de potência superior a 1000kW por produtor independente;
- O aproveitamento de potencial hidráulico de potência superior a 10000kW por autoprodutor.

Dependem de autorização o aproveitamento de potencial hidráulico superior a 1000kW e igual ou inferior a 10000kW, por autoprodutor.

Aproveitamentos de potencial igual ou inferior a 1000kW independem de concessão ou autorização, mas devem ser comunicados ao órgão regulador para fins de registro.

As notificações apresentadas anteriormente devem ser feitas por meio de correspondência do Diretor-Geral do ANEEL, contendo as seguintes informações:

- Nome do solicitante ou razão social e sede;
- Localização da pequena central, definindo o rio, o município e o estado;
- Fins a que se destina a energia;

- Capital investido;
- Data do início da instalação;
- Características da instalação;
- Declaração de prioridade das terras onde se localiza a central em questão, incluindo as inundadas pela usina;
- Outras observações julgadas necessárias.

Com relação a comercialização pelo produtor independente este poderá revender a energia com:

- Concessionário ou permissionário de serviço público de energia elétrica;
- Conjunto de consumidores de energia elétrica, independente da tensão e carga, nas condições previamente ajustadas com o concessionário local de distribuição;
- Qualquer consumidor que demonstre ao poder concedente não ter o concessionário local lhe é assegurado o fornecimento no prazo de até 180 dias, contado pelo poder concedente.

A comercialização de energia elétrica nas hipóteses acima deverá ser feita a preços sujeitos aos critérios gerais fixados pelo poder concedente.

A lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, regulamenta as parcelas relativas à transmissão e à distribuição, que serão determinadas pelas seguintes fórmulas:

- $TFt = P \times Tu$

Em que:

TFt = Taxa de fiscalização da concessão de Transmissão

P = Potência instalada para serviço de transmissão

Tu = 0,5% do valor unitário do benefício anual decorrente da exploração do serviço de transmissão;

- $TFd = [Ed / (FC \times 8,76)] \times Du$

Em que:

TFd = Taxa de fiscalização da concessão de distribuição

Ed = Energia anual faturada com o serviço concedido de distribuição, em MWh

FC = fator de carga médio anual das instalações de distribuição.

D_u = 0.5% do valor unitário do benefício anual decorrente da exploração do serviço de distribuição.

Para determinação do valor do benefício econômico a que se refere o parágrafo anterior, considera-se a tarifa fixada no respectivo contrato de concessão ou no ato de outorga da concessão, permissão ou autorização, quando se tratar de serviço público, ou no contrato de venda de energia, quando se tratar de produção independente. No caso de exploração para uso exclusivo, o benefício econômico será calculado com base na estipulação de um valor típico para a unidade de energia elétrica gerada.

2.3 Características das Pequenas Centrais Hidrelétricas

A classificação de centrais hidrelétricas é baseada em sua potência instalada, sendo apresentada de forma diversa pelo Manual da OLADE (Organização Latino Americana de Energia) e pelo Manual de Centrais Hidrelétricas Brasileiras S. A. da Eletrobrás (Tabela 1).

TABELA 1: Classificação de centrais hidrelétricas

CLASSIFICAÇÃO DAS CENTRAIS	POTÊNCIA – P (kW)	QUEDA DE PROJETO – H _d (m)		
		BAIXA	MÉDIA	ALTA
MICRO	P < 100	H _d < 15	15 < H _d < 50	H _d > 50
MINI	100 < P < 1000	H _d < 20	20 < H _d < 100	H _d > 100
PEQUENAS	1000 < P < 30000	H _d < 25	25 < H _d < 130	H _d > 130

Fonte: ELETROBRÁS (1997)

De acordo com o Manual de Minicentrais Hidrelétricas editado pela ELETROBRÁS (1985), minicentral é aquela capaz de gerar potências entre 100kW e 1000kW. Os outros critérios usados na classificação são basicamente indistintos para os dois tipos citados e são classificados segundo: a sua potência instalada, a altura de queda, forma de captação de água e a forma de utilizar as vazões naturais.

Em alguns casos pode-se perceber facilmente a importância do aproveitamento de pequenas potências. Por exemplo, em locais onde passam linhas de alta tensão, cuja energia para ser aproveitada

exigiria subestações de custo imcompatível, ou inviável, com a demanda local. Em outros casos, poderia-se conduzir a energia de subestações de cidades vizinhas, mas demandaria longas linhas de transmissão, com consequente elevado custo de investimento pela concessionária. Logo, em tais situações, a instalação de uma mini ou pequena usina representaria uma solução vantajosa. Jiandong *et al.* (1997) defendem que o suprimento de energia por pequenas centrais são técnica e economicamente viáveis pois solucionam a demanda de energia dos pequenos centros aproveitando o grande potencial da disponibilidade hídrica existente nestas regiões. Logo, uma estratégia flexível e diversificada, baseada em condições regionais e locais, para a eletrificação rural deve ser considerada. Conforme ELETROBRÁS & DNAEE (1985), essas usinas de pequeno porte são empregadas quando a vazão mínima do rio é maior que a descarga necessária à potência a ser instalada para atender à demanda máxima do mercado consumidor. Em tal caso, a captação da água pode ser feita por uma pequena barragem, desprezando-se o volume do reservatório criado e projetando-se todo o sistema de adução para conduzir a descarga necessária para o atendimento da demanda máxima local. O aproveitamento energético do local seria parcial e haveria descargas pelo vertedouro.

Aproveitamentos de pequeno porte possuem algumas simplificações, dentre elas destacam-se: dispensam estudos sazonais de carga elétrica do consumidor e de regularização de descargas e facilitam a concepção de tomada d'água; dispensam levantamento detalhado da área do reservatório.

Na fase de projeto de PCHs, as barragens são baixas e as áreas inundados pequenas, causando poucas perdas pela área alagada (terras inundadas) seja do proprietário, da concessionária ou de terceiros. Não é necessário que a tomada d'água seja projetada para atender depleções, uma vez que não há variações significativas no nível da água no reservatório. Dessa forma ao se projetar a adução primária através de um canal aberto, como não há necessidade de se atender as depleções citadas, a profundidade de tal canal deve ser a maior possível. Para casos gerais como os apresentados acima, ou seja, para quedas constantes, não há necessidade de instalação de turbinas com rotores de pás móveis, tipo Kaplan, o que em termos de equipamentos eletromecânicos torna a unidade geradora mais econômica.

2.4 Tipos de PCHs

A estrutura de uma PCH consiste em levar a água de um rio até uma casa de máquinas onde a energia mecânica da água será convertida em energia elétrica e depois conduzida novamente ao rio.

2.4.1 Pequena central de baixa queda

Para quedas de até 3m tem-se um arranjo básico com um canal de adução, dotado de uma câmara de carga que leva a água diretamente para a casa de máquinas. Este modelo de pequena central está apresentado na Figura 1.

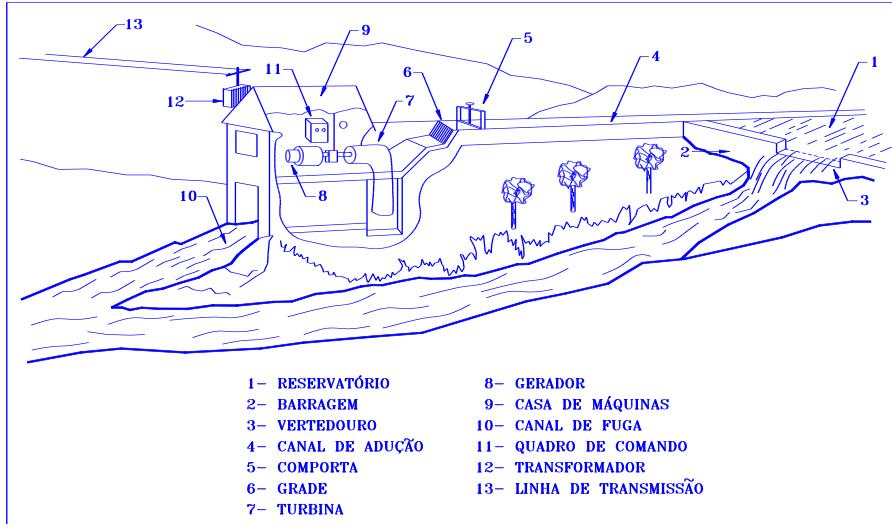


Figura 1: Arranjo típico para PCHs de baixa queda.

Fonte: Mauad (2002)

2.4.2 Pequena central afastada da queda

Estas centrais onde a casa de máquinas fica afastada da queda possuem um canal de adução, dotado de uma câmara de carga que é ligada a ela. Este arranjo permite que se aproveite a queda mesmo com a casa de máquinas afastada, e seu arranjo básico é apresentado na Figura 2.

2.4.3 Pequena central afastada da queda e sem canal

Em casos onde a barragem se encontra afastada da casa de máquinas e não é possível a implementação de um canal ao longo da encosta, usa-se uma chaminé de equilíbrio ligada a casa de máquinas por meio de outro tubo. A Figura 3 mostra a representação deste tipo de instalação.

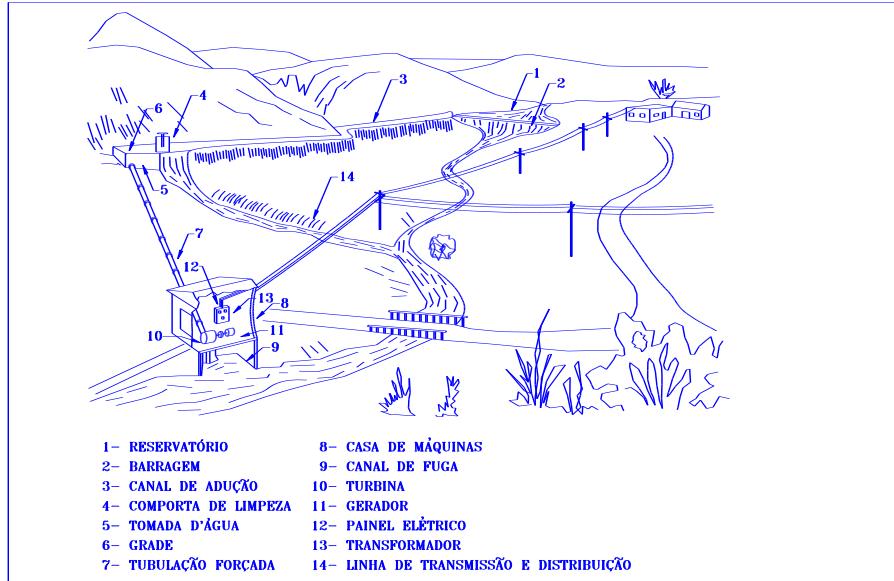


Figura 2: Arranjo típico de uma pequena central afastada da queda.

Fonte: Mauad (2002)

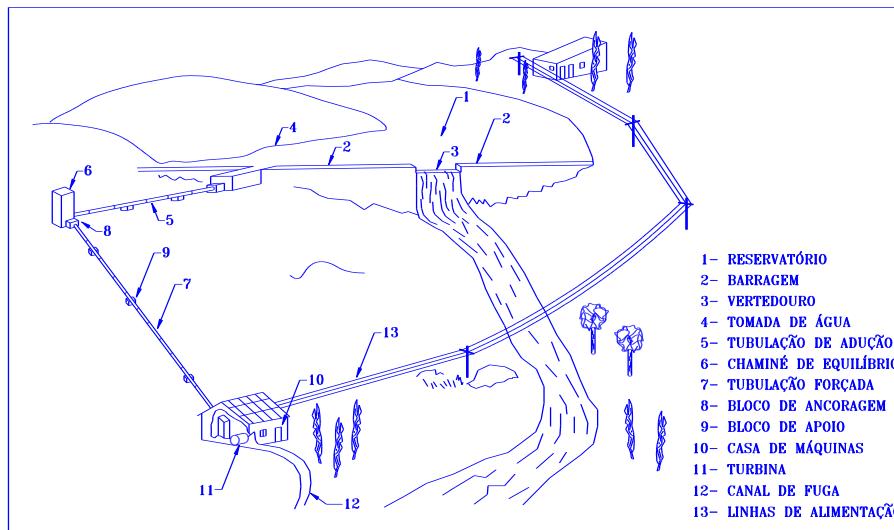


Figura 3: Arranjo típico para uma pequena central afastada da queda e quando não é possível adotar canal.

Fonte: Mauad (2002)

2.4.4 Pequena central com alta queda e próxima da barragem

Para quedas acima de 3m e barragem próxima a casa de máquinas um arranjo propício consiste em ligar uma tubulação diretamente da tomada d'água até a turbina. Na figura 4 pode-se ver tal distribuição.

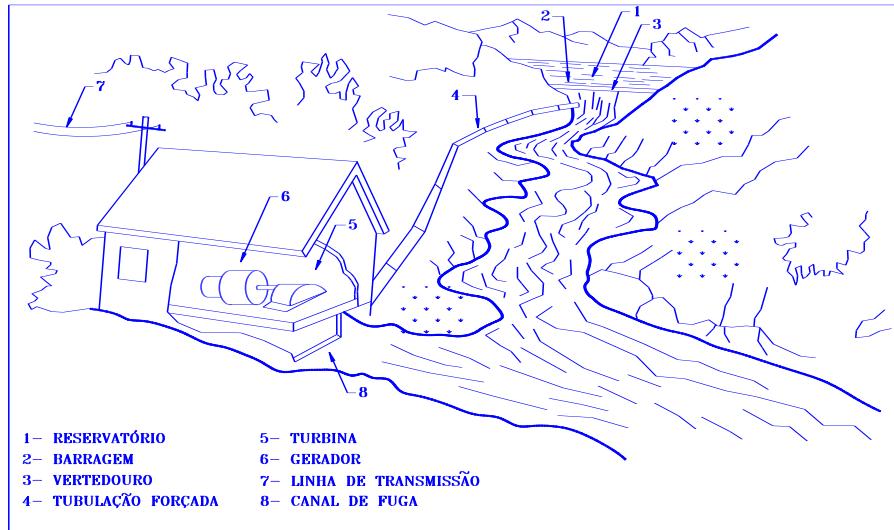


Figura 4: Arranjo típico para pequena central com alta queda e próxima da barragem.

Fonte: Mauad (2002)

2.5 Componentes básicos das PCHs

2.5.1 Barragem

A função principal da barragem é manter o nível do rio através de um vertedor, portanto ela só é usada em casos cujos rios sofrem constantes variações em seu nível. Nos casos das PCHs as barragens não tem função de armazenar água, uma vez que tais empreendimentos são dimensionados para operar a fio d'água. Elas podem ser construídas de madeira, pedra ou concreto.

2.5.2 Tomada d'água

A tomada d'água tem por função captar a água a qual será conduzida por meio de um canal ou uma tubulação até a turbina na casa de máquinas. Outra finalidade é a retenção de corpos sólidos que podem danificar a turbina, e para tal usa-se grades e faz-se a limpeza de sedimentos e de areia por meio do desarenador e do sedimentador.

2.5.3 Sistema de Adução

Considera-se sistema de adução o conjunto responsável por levar a água da tomada d'água até as turbinas. Neste conjunto estão presentes: tomada d'água, canal, castelo d'água, chaminé de equilíbrio, tubulação forçada, registro.

2.5.4 Câmara de carga

A câmara de carga faz a passagem da água do canal até uma tubulação forçada. Tem outras funções como: absorver variações repentinhas no fluxo da água e reter impurezas.

2.5.5 Chaminé de equilíbrio

Tem como função proteger o conduto de derivação do golpe de aríate, o qual ocorre quando há uma rejeição de carga ocasionando uma variação repentina no escoamento da água. Esta chaminé de equilíbrio é instalada apenas quando a distância entre a tomada d'água e a casa de máquinas é muito grande comparada a altura de queda e quando o sistema de adução é composto de tubos.

2.5.6 Casa de máquinas

A casa de máquinas é responsável pelo transformação da energia hidráulica em elétrica. É onde se encontra instalados a turbina, o painel de controle, o gerador e o comando da PCH.

2.5.7 Turbina

É o equipamento que absorve a energia hidráulica por meio de um rotor que a transforma em energia mecânica (rotação).

2.5.8 Gerador

Equipamento que transforma a energia mecânica do rotor em energia elétrica.

2.6 Custos básicos

Segundo MAUAD (2002), os custos de uma hidrelétrica variam muito de acordo com o local de instalação, mas quando se tratam de pequenas centrais há uma pequena variação nos custos do empreendimento devido a maior padronização dos equipamentos e dos projetos. E levando-se em conta uma hipótese básica de auto-produtor rural com uso de equipamentos de série, projeto padronizado, mão de obra e matérias da própria propriedade, pode-se admitir um custo estimado variando de 800 a 1600 R\$/kW.

Por meio da tabela 2 pode-se ter a idéia, por meio de um exemplo real (Bortolan) dos custos percentuais envolvendo uma pequena central hidrelétrica.

Tabela 2: Custo percentual de uma mini central (Bortolan)

COMPONENTE DO CUSTO	%
1) MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS	
a) Turbina BULBO S + Regulador Automático de Velocidades + Volante + Peças de reserva	25,32
b) Gerador + Excitador + Regulador Automático de Tensões + Peças de reserva.	5,70
c) Grade + Válvula Borboleta	4,86
d) Conduto Forçado + Junta de Dilatação	5,08
e) Transformador Elevador	2,41
f) Painéis + Quadros de comando, proteção, medição, sinalização.	4,28
g) Carregadores para Baterias + Acessórios	0,38
SUBTOTAL	48,51
2) ENGENHARIA CONTRATADA	
a) Projeto + Acompanhamento na área mecânica.	2,46
b) Gerenciamento da obra + Fiscalização	2,99

c) Serviços topográficos, Cálculo estrutural	0,25
d) Mão-de-obra de montagem, supervisão e comissionamento da turbina.	5,70
SUBTOTAL	11,40
3) CONSTRUÇÃO CIVIL/MATERIAL	
a)Aço para concreto armado 70,347 kg	3,05
b)Concreto usinado 889,5 m ³ +pedra britada	4,38
c) Tábuas + laminados + formas	1,53
SUBTOTAL	8,96
4) MATERIAIS E PEÇAS DIVERSAS	
a) Pintura, calçamento, caixilharia, Inst. Elétrica e hidráulica, cabos elétricos, etc...	11,14
5) MÃO - DE - OBRA	
a) montagem cond. Forçado e válvula	1,83
b) Mão-de-obra na construção civil	18,16
SUBTOTAL	19,99
TOTAL	100

2.7 Determinação do Potencial de uma PCH em projeto

A determinação da potência instalada em uma PCH requer processos que incluem procedimentos para aquisição de dados, como a vazão do local escolhido e a altura de queda do projeto. A avaliação do potencial hidráulico pode ser dado da seguinte forma:

$$P_H = g * Q_{95} * H_L * \eta_T * \eta_g \quad (\text{Equação 1})$$

E que:

g: aceleração da gravidade [m/s²]

P_H : potência nos bornes do gerador, em kW

Q_{95} : vazão de 95% de permanência [m^3/s]

H_L : altura líquida [m]

η_T : rendimento da turbina

η_g : rendimento do gerador

Para a aceleração da gravidade usa-se um valor geral de $g=9,81\text{ m/s}^2$. A ELETROBRÁS (1985) supõe máquinas com rendimento de aproximadamente 77% para a turbina e de 95% para o gerador, e utiliza a seguinte fórmula de potência a ser instalada em um aproveitamento de pequeno porte:

$$P_H=7,16*Q_{95}*H_L \quad (\text{Equação 2})$$

A Equação 2 é uma simplificação adquirida através da fórmula de ELETROBRÁS, Manual de Minicentrais Hidrelétricas de 1985, a qual considera as perdas de carga nas tubulações da turbina e a eficiência da unidade geradora, prevendo um cálculo simplificado para tal etapa do trabalho, possibilitando analisar previamente por meio do cálculo da potência instalada a viabilidade de instalação de uma PCH.

2.7.1. Altura de Queda do Projeto

A determinação da altura de queda líquida sugerida pela ELETROBRÁS (1985) é a de procedimento expedito. Mas será usado para este estudo a utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) como uma ferramenta para a localização dos pontos de queda e posterior uso destes para a determinação do potencial hidráulico.

A queda líquida (H_L) compreende a queda bruta (H_B) deduzida da perda de carga total no sistema de adução. A H_B é a diferença entre a cota do nível de água na tomada d'água, ou do nível máximo normal do reservatório e a cota do nível de água normal no canal de fuga. Para o cálculo da perda no sistema de adução existem dois métodos (ELETROBRÁS, 1985):

Método Expedito- comumente empregado nos primeiros estudos de avaliação do potencial local do aproveitamento.

Método Clássico- baseado nas teorias desenvolvidas para os estudos hidráulicos de escoamento dos fluídos e, por apresentar resultados mais precisos, é empregado para o projeto definitivo do aproveitamento das obras civis do sistema de adução.

Para os estudos prévios do potencial hidráulico propostos neste trabalho, será usado o método expedido sugerido pela ELETROBRÁS (1985) e sintetizado na Tabela 3.

TABELA 3: Método expedido de cálculo da altura líquida

Comprimento do sistema de adução (distância da casa de máquinas até a tomada d'água) (m)	Relação (H_L/H)
< 80	0,97
80 – 320	0,96
320 – 800	0,95
> 800	Método Clássico

Fonte: ELETROBRÁS (1985)

2.7.2. Regularização de Vazões

Até 1989, o DNAEE mantinha, espalhados em todo o território nacional, postos fluviométricos. Entretanto muitos rios de médio e pequeno porte não possuem registros, uma vez que o território brasileiro apresenta uma gama muito grande de cursos d'água.

Nos estudos para aproveitamentos hidráulicos em pequenas bacias, é comum se deparar com a falta de dados de séries históricas de vazão, ou até quando o tamanho das séries é insuficiente. Para estes casos é necessário aplicar técnicas de transferência de informações de outros locais para a bacia hidrológica em questão. Uma destas técnicas é denominada regionalização hidrológica, para a qual foram desenvolvidos meios que utilizam informações sobre sazonalidade e quantificação de precipitação, tipificação de solos e drenagem, características físicas e geológicas locais que permitam estabelecer uma relação com os postos fluviométricos existentes, através de uma correlação estatística adequada.

As características hidrológicas a serem regionalizadas dependem fundamentalmente da finalidade do projeto. No caso de aproveitamentos hidrelétricos de pequeno porte deseja-se quantificar a energia possível a ser gerada, que é comumente estimada pela análise de curva de permanência.

De acordo com o Manual de Minicentrais Hidrelétricas da ELETROBRÁS (1985), os estudos hidrológicos a serem realizados nos projetos de pequenas hidrelétricas compreendem basicamente a

definição de cada projeto do regime fluviométrico do curso d'água, com a determinação de vazões para utilização do cálculo da potencial a ser instalada.

Como visto anteriormente, nos casos em que não há dados fluviométricos para uma dada seção do rio, existe a necessidade de regularização de vazões. A curva de regularização de vazões é a curva obtida para uma determinada seção de um curso d'água em função da curva conhecida de outra seção do mesmo ou até de outro curso de água. Isto é possível, uma vez que a regularização baseia-se no fato de que as vazões obtidas para uma determinada seção serem proporcionais a área da bacia hidrográfica que fica a montante. Logo, tais dados podem ser extrapolados para outros trechos de rio da mesma bacia, desde que certas condições possam ser consideradas semelhantes, como: condições climatológicas, de subsolo e da cobertura vegetal.

Dentre outros usos, a vazão média permite caracterizar a capacidade hídrica de uma bacia e seu potencial energético. A vazão média de longo período é a maior vazão possível de ser regularizada em uma bacia (TUCCI, 1997) .

Para os aproveitamentos deste trabalho, considerou-se que serão a fio d'água. Nestes casos, ELETROBRÁS (1995) sugere que a vazão adotada seja a vazão de 95% do tempo (Q_{95}).

A curva de permanência apresenta a frequência com que ocorrem valores iguais ou superiores aos valores de uma série temporal. O caso do valor de permanência de 95% significa que a seção fluvial apresenta-se com vazões acima dele em 95% do tempo. Aconselha-se a utilização de séries diárias para a obtenção da curva de permanência, a qual se obtém valores mais condizentes com a realidade de dada seção fluvial.

2.7.3 Determinando o fator de carga

O fator de carga é a razão entre a demanda média (D_m) e a demanda máxima(D_{max}), e caracteriza o sistema de cargas elétricas a ser atendido. Ou seja:

$$F_C = \frac{D_m}{D_{max}}$$

Em que:

F_C = fator de carga.

Analisando o fator de carga pode-se saber se as cargas do sistema estão bem definidas. Quanto mais próximo do índice 1 o fator de carga está, melhor distribuídas estão as cargas e menor serão os problemas de operação da minicentral de energia.

Caso o fator de carga seja pequeno, deve-se fazer um novo estudo para se mudar a distribuições das cargas durante o dia. Uma solução seria mudar o horário de funcionamento de alguns equipamentos, ao até alterar o projeto da própria usina. Mas este estudo deve se levar em conta o uso da energia em cada usina ou propriedade rural atendida pelo PCH.

Mas há alguns meios mais comuns de se melhorar o fator de carga, dentre eles temos: relacionar toda a carga instalada e anotar os respectivos horários de funcionamento; selecionar as cargas que podem ser operadas fora do período da demanda máxima; reprogramar o período de funcionamento das cargas passíveis de deslocamento; evitar partidas simultâneas de motores que iniciam a operação com carga; evitar a ocorrência de curto-circuito e fugas de corrente; dar proteção adequada aos equipamentos e instalações elétricas, bem como manutenção periódica.

2.8 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são ferramentas que permitem trabalhar com informação espacial (geográfica), integrando e sobrepondo vários tipos de informação. Existem vários modelos de dados aplicáveis em SIG (Sistemas de Informação Geográfica). Por exemplo, o SIG pode funcionar como uma base de dados com informação geográfica (dados alfanuméricos) que se encontra associada por um identificador comum aos objetos gráficos de um mapa digital. Desta forma, assinalando um objeto pode-se saber o valor dos seus atributos, e inversamente, selecionando um registro da base de dados é possível saber a sua localização e apontá-la num mapa.

O Sistema de Informação Geográfica separa a informação em diferentes camadas temáticas e armazena-as independentemente, permitindo trabalhar com elas de modo rápido e simples, permitindo ao operador ou utilizador a possibilidade de relacionar a informação existente através da posição topológica dos objetos, com o fim de gerar nova informação.

Os modelos mais comuns em SIG são o modelo raster ou matricial e o modelo vetorial. O modelo de SIG matricial centra-se nas propriedades do espaço, compartimentando-o em células regulares (habitualmente quadradas, mas podendo ser retangulares, triangulares ou hexagonais). Cada

célula representa um único valor. Quanto maior for a dimensão de cada célula (resolução) menor é a precisão ou detalhe na representação do espaço geográfico.

No caso do modelo de SIG vetorial, o foco das representações centra-se na precisão da localização dos elementos no espaço. Para modelar digitalmente as entidades do mundo real utilizam-se essencialmente três formas espaciais: o ponto, a linha e o polígono.

Para o aproveitamento do SIG é necessário o uso de software que utilize o modelo SIG. Existem vários deles no mercado, mas para este trabalho será empregado o software IDRISI.

2.8.1. Sofware IDRISI

Lançado em 1987, este sistema desenvolvido pela Clark University, Massachusetts, é baseado na forma raster de representação de dados. Um aspecto importante é a possibilidade do usuário escrever programas específicos que possam ampliar a gama de aplicações, utilizando de banco de dados externo. O IDRISI é um sistema que se adequa às atividades de pesquisa e ensino devido ao seu custo relativamente baixo e a sua estrutura modular, o que permite o desenvolvimento de novos módulos com o conhecimento mínimo da estrutura interna de funcionamento. Os módulos podem ser desenvolvidos em qualquer linguagem. Por outro lado, o sistema já oferece um número razoável de possibilidades em relação às operações dados.

PAREDES (1994) descreve outros programas e as características principais dos seguintes softwares de Sistemas de Informação Geográfica: GRASS, MGE, GDMS, GEO-INF + MAP, SAGA, GEOVISION, APIC, MIPS, SGI, SIR, ARC/INFO, ERDAS, ER MAPPER.GISMO, GEO/SQL. O INPE também disponibiliza um software SIG, o SPRING.

CAPÍTULO 3: APLICAÇÃO DE UM EXEMPLO PRÁTICO DE ESTUDO SOBRE UMA PCH

3.1. Material Empregado

Proceder-se-á o uso dos estudos apresentados anteriormente para aplicação em um exemplo real de determinação do potencial hidrelétrico para uma mini bacia. Para esta exemplificação utilizou-se os seguintes documentos cartográficos com sua respectiva fonte de dados: carta de planialtimétrica do IBGE representados pela quadrícula Luís Antônio, Descalvado, Santa Rita do Passa Quatro e Pirassununga em escala 1:50.000 do ano de 1972: usados para a digitalização das curvas planialtimétricas para definir o relevo da área de estudo. Destas cartas foram extraídos dados de hidrografia e de infra-estrutura viária da região;

Para a caracterização da área em estudo e também como fonte de dados para a simulação deste estudo, foi usado o estudo de GANDOLFI (1968) da bacia do Mogi-Guaçu, sob os aspectos de drenagem.

Relatórios de projetos de macrozoneamento da região do Mogi-Guaçu, Regulamentação da Lei Estadual nº 7.641/91, foram utilizados e mesmo não contemplando a utilização do SIG facilitaram a obtenção dos mapas bases e dados pertinentes da região em estudo.

Com a posse das informações geográficas pertinentes ao trabalho, parte dos dados foram digitalizados com auxílio do software TOSCA 2.12, e outra parte no CartaLinx, em mesa digitalizadora Summagraphics Summagrid IV, formato A1. Foram digitalizados arquivos para cada quadrícula dos mapas do IBGE em estrutura de vetores (vector) e estes foram concatenados e editados no TOSCA 2.12 e no CartaLinx respectivamente, e então introduzidos no SIG, cujo programa adotado foi o IDRISI.

3.2. Área de Estudo

Optou-se por escolher uma região que tenha uma grande disponibilidade de recursos hídricos e quedas possíveis de serem aproveitadas na implementação de PCHs. Para tal, escolheu-se uma área da Bacia Hidrológica do rio Mogi-Guaçu, no Estado de São Paulo.

Esta área é de aproximadamente 2496 km² e abrange os municípios de Santa Cruz da Estrela, Porto Ferreira, Descalvado, Luís Antônio, Pirassununga e Santa Rita do Passa Quatro. As coordenadas desta área na projeção Universal Transverse Mercator (UTM), são 218.000 mE, 266.000mE, 7.566.000mN, 7.618.000 mN, cujo fuso tem origem no Equador e Meridiano 45°W.Gr, o referencial é o norte verdadeiro. A região estudada apresenta como ponto mais baixo nesta área a cota de 532 m acima do nível do mar e o ponto mais alto se encontra a 1002 m.

A Figura 5 apresenta o mapa da rede de distribuição de energia e de infra-estrutura viária, o qual mostra as opções de redes de distribuição já existentes as quais poderiam ser ligadas mais facilmente as futuras PCHs da região.

A bacia do Mogi-Guaçu tem o relevo muito movimentado, com afluentes que recortam intensamente esta região e desniveis consideráveis, chegando a atingir 500 metros, o que confere aos afluentes dos seus principais rios, Mogi-Guaçu e Pardo, considerável energia. Tal relevo pode ser visto nas Figuras 6 e 7 as quais se referem as declividades locais e a visão em perspectiva do relevo regional, permitindo ver com mais clareza os seus declives.

3.3. Potencial Hidráulico da Área em Estudo

Nesta etapa é verificado o potencial hidrelétrico de vários locais, através da equação sugerida pela ELETROBRÁS (1985) de potencial hidráulico (ver Equação 2). São necessários, também, a geração de dados de vazão e das alturas de pontos escolhidos para a confirmação do potencial hidrelétrico local, simulado com o auxílio do IDRISI.

3.3.1. Seleção dos Locais Potencialmente Interessantes

A identificação e a localização das quedas em potencias foram auxiliadas pelo SIG, programa IDRISI, o qual gerou o mapa da topografia a partir das cartas do IBGE, escala 1:50.000 da região. Os mapas foram digitalizados no TOSCA 2.12, em vector. Os arquivos foram concatenados e editados para posterior utilização no SIG. Nesta etapa, no IDRISI gerou-se um arquivo básico com a área em estudo, através do comando INITIAL, onde a matriz base é de 960 colunas por 1040 linhas, totalizando uma área de 2.496 km², com pixels de resolução de 50m x 50m.

Com o IDRISI, os mapas foram convertidos de *vector* para *raster* sobre a imagem base, gerando os mapas temáticos georreferenciados na forma de imagens digitais de topografia e rede hidrográfica. A imagem rasterizada das curvas de níveis da região foi processada, produzindo-se o modelo de elevação digital ou *Digital Elevation Model (DEM)*, da topografia da região.

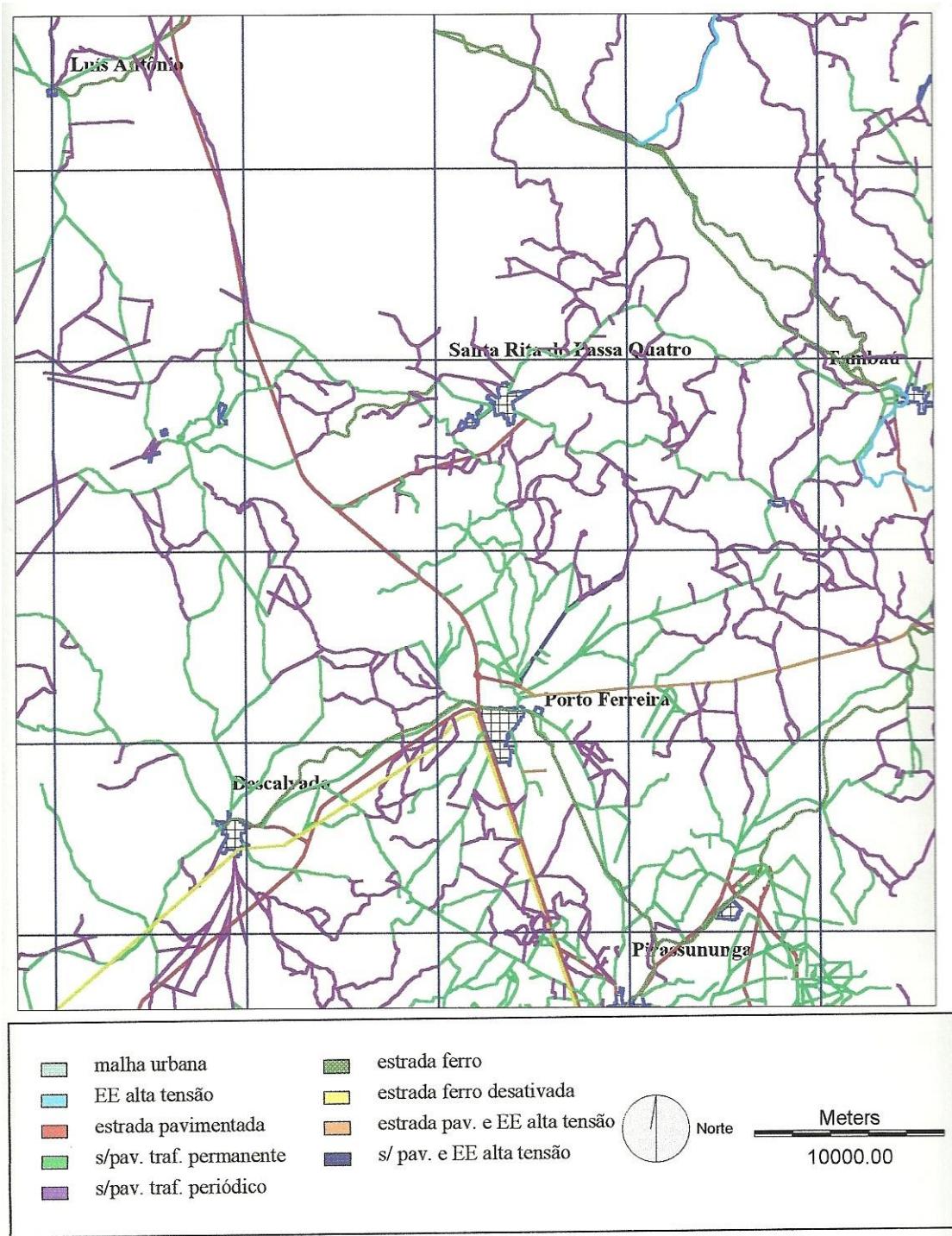


Figura 5: Mapa da rede de distribuição de energia e infra-estrutura viária da região em estudo

Fonte: IBGE

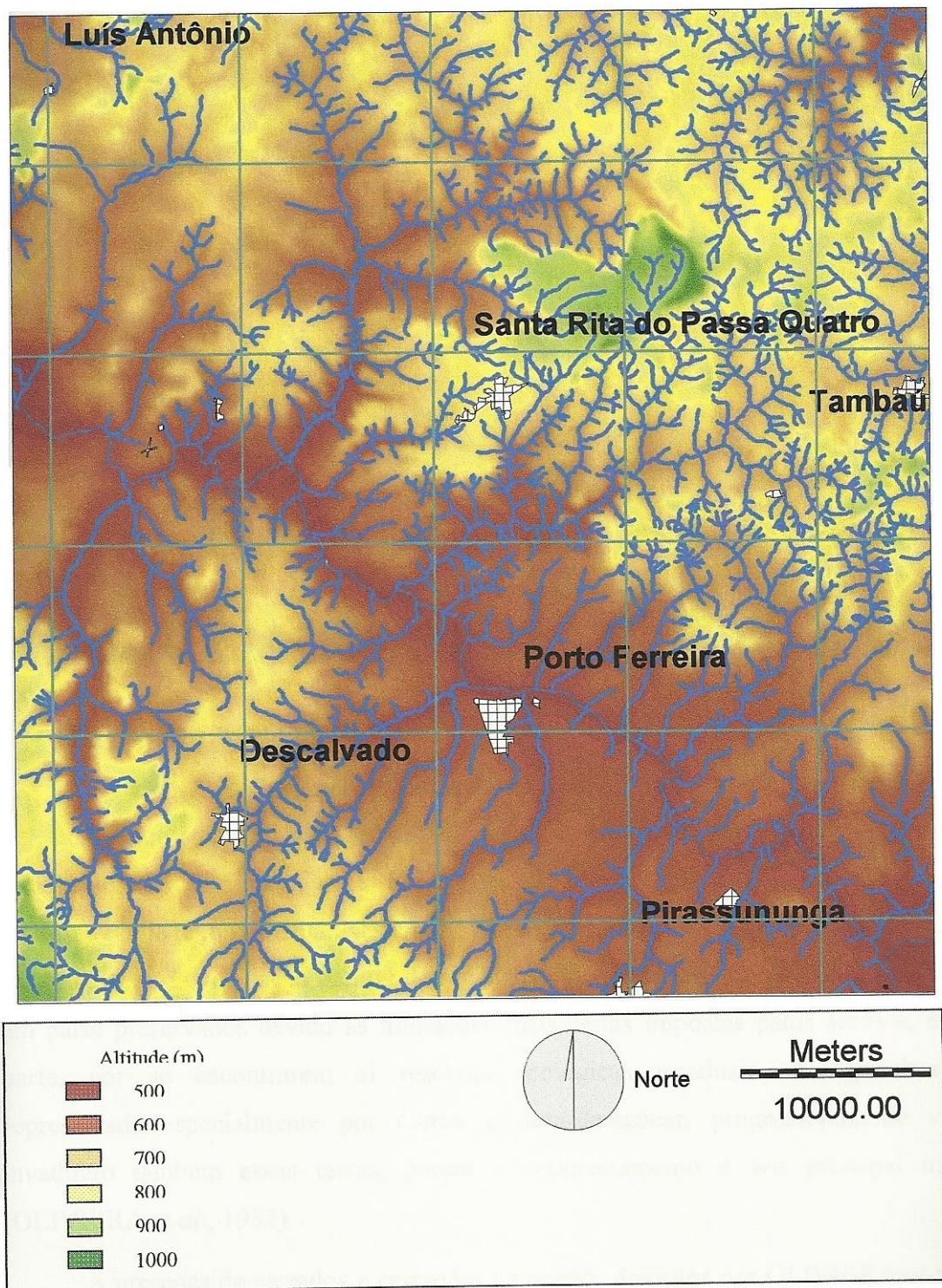


Figura 6: Mapa hipsométrico e da rede hidrográfica

Fonte: IBGE

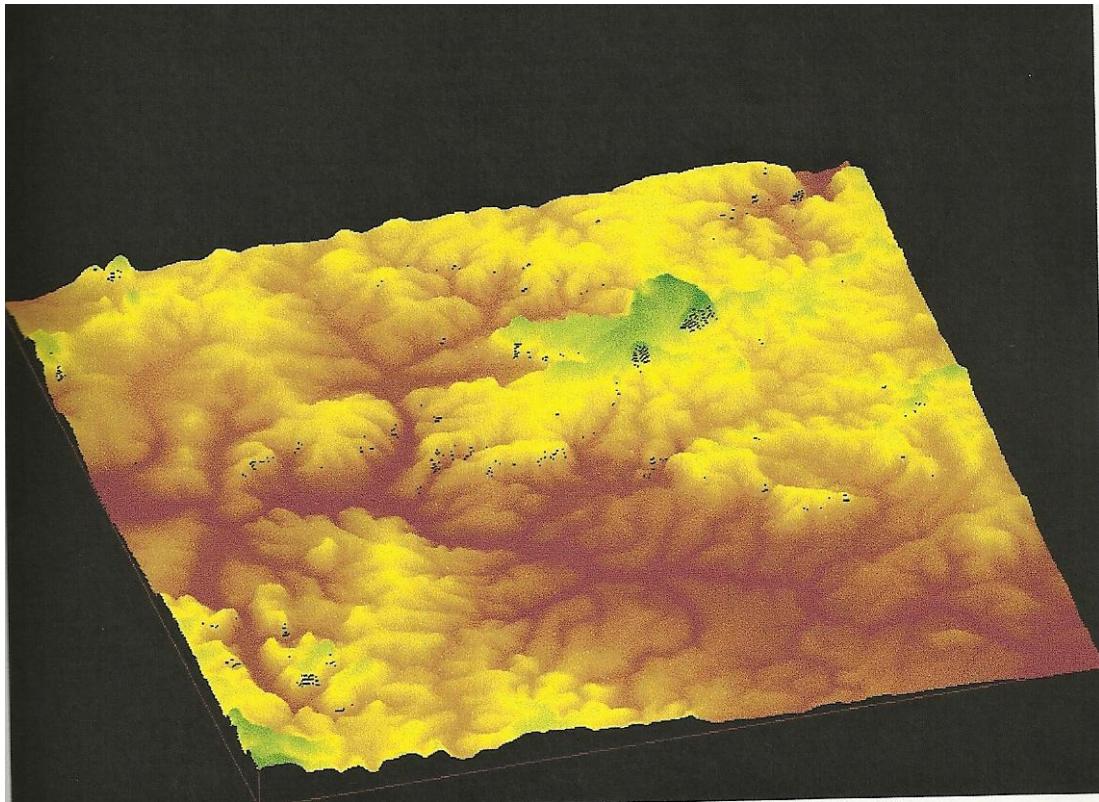


Figura 7: Imagem para visualização da região em estudo em perspectiva.

De posse do modelo digital do terreno (DEM), foram geradas cartas de declividade, usando os módulos *surface/slope* do software. As declividades foram agrupadas em classes com o módulo *reclass*. Assim a carta foi agrupada em quatro classes: declividades menores que 5%, de 5 a 10%, de 10 a 20% e superiores a 20%.

Posteriormente sobrepõem-se a carta de declividade agrupadas em classes com o arquivo de hidrografia, o que gera uma carta onde é possível identificar locais com alta declividade ao longo dos rios (mais interessantes para aproveitamentos hidrelétricos). O mapa gerado está representado na Figura 8.

Como o pixel apresenta tamanho de (50m x 50m), uma declividade de 5% se refere a um desnível de 2,5m em 50 m de trecho, uma declividade de 10% significa desnível de 5 m e assim por diante. Neste estudo, se desconsiderou as declividades inferiores a 5%.

Pela imagem gerada (Figura 8), verificou-se que os trechos de maiores declividades (> 20%) se mostram presentes, sem sua maioria, nas cabeceiras dos rios. Canais de cabeceiras de nascente são pouco volumosos e de extensão pequena, logo, tais quedas apresentam baixo potencial hidráulico.

Após o pré-selecionamento dos locais a serem analisados, o desnível bruto dessas quedas foi determinado apartir do DEM gerado. Logo, conhecendo-se o trecho definido como a queda potencial, esta diferença pode ser verificada como a diferença entre as cotas dos pixels identificados como início e final da queda.

Em seguida as quedas pré-selecionadas tiveram a área de contribuição de cada uma digitalizada, criando uma imagem representada na Figura 9. Com o uso do comando *area* foi possível verificar a extensão da área de contribuição em km^2 relativa a cada queda para o posterior cálculo da potência instalada.

3.3.2. Determinando a Vazão de Projeto

Para a determinação da vazão de projeto, utilizou-se dados fornecidos pela CESP em conjunto com o DNAEE, dados de postos fluviométricos presentes na região. Foram usados dados dos postos fluviométricos Agroceres e Santa Catarina, presentes na bacia Mogi-Guaçu, os quais são apresentados na Tabela 4.

TABELA 4: Características dos Postos Fluviométricos Agroceres e Santa Catarina

Nome do Posto	Localização		Município	Área de drenagem (km^2)	Período de dados em estudo
	Latitude [S]	Longitude [W]			
Agroceres	21°57'10"'	47°18'45"'	Pirassununga	9.519,0	Junho/1981 a junho/1997 (192 dados)
Santa Catarina	21°55'00"'	47°24' 00"'	Pirassununga	9.650,0	Ago/1944 a dez/1976 (260 dados)

Também foram fornecidas pela CESP/DNAEE as curvas de permanência das vazões mensais, as quais foram geradas a partir dos dados coletados nos dois postos citados.

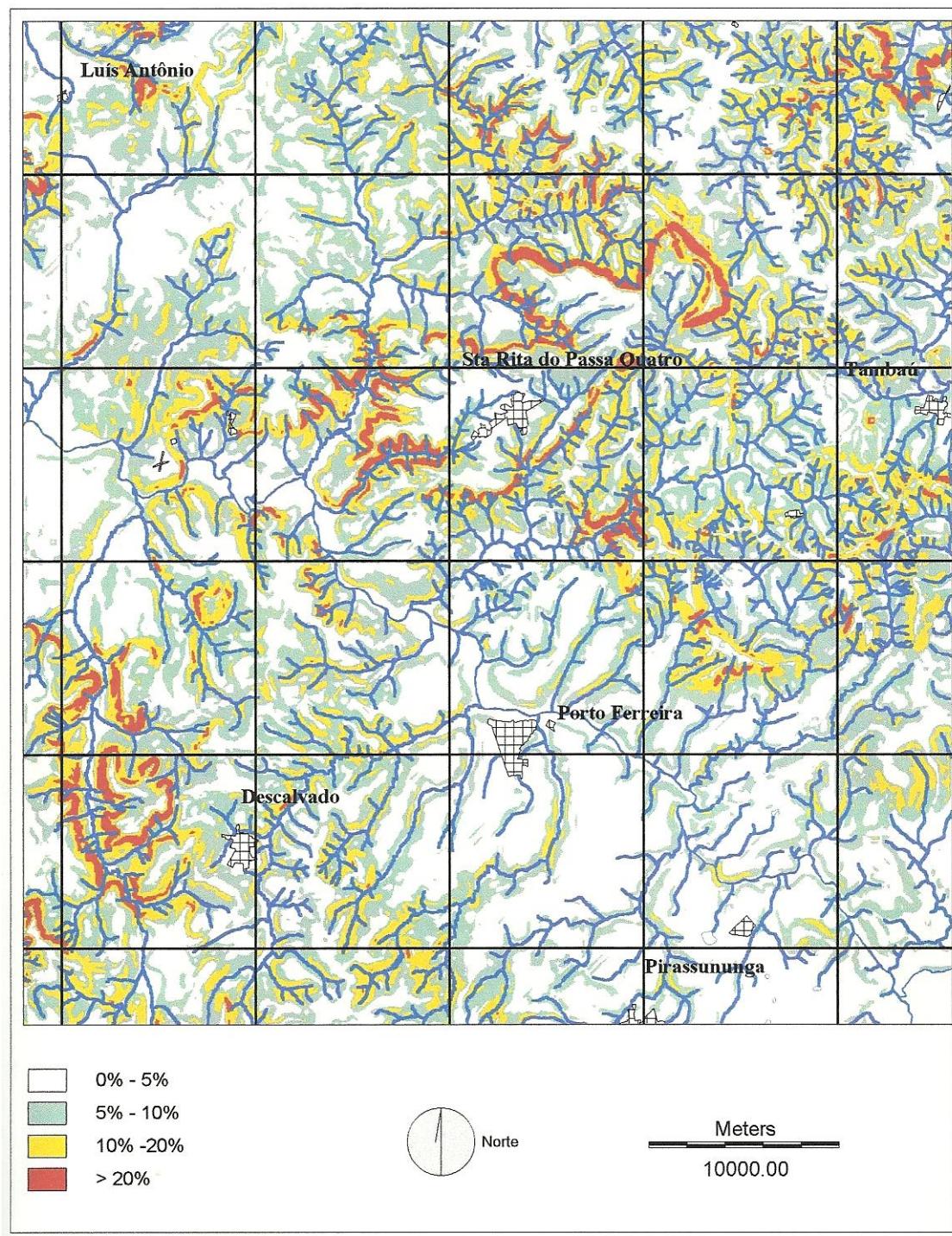


Figura 8: Mapa de declividades reclassificadas para definição da quedas em potencial.

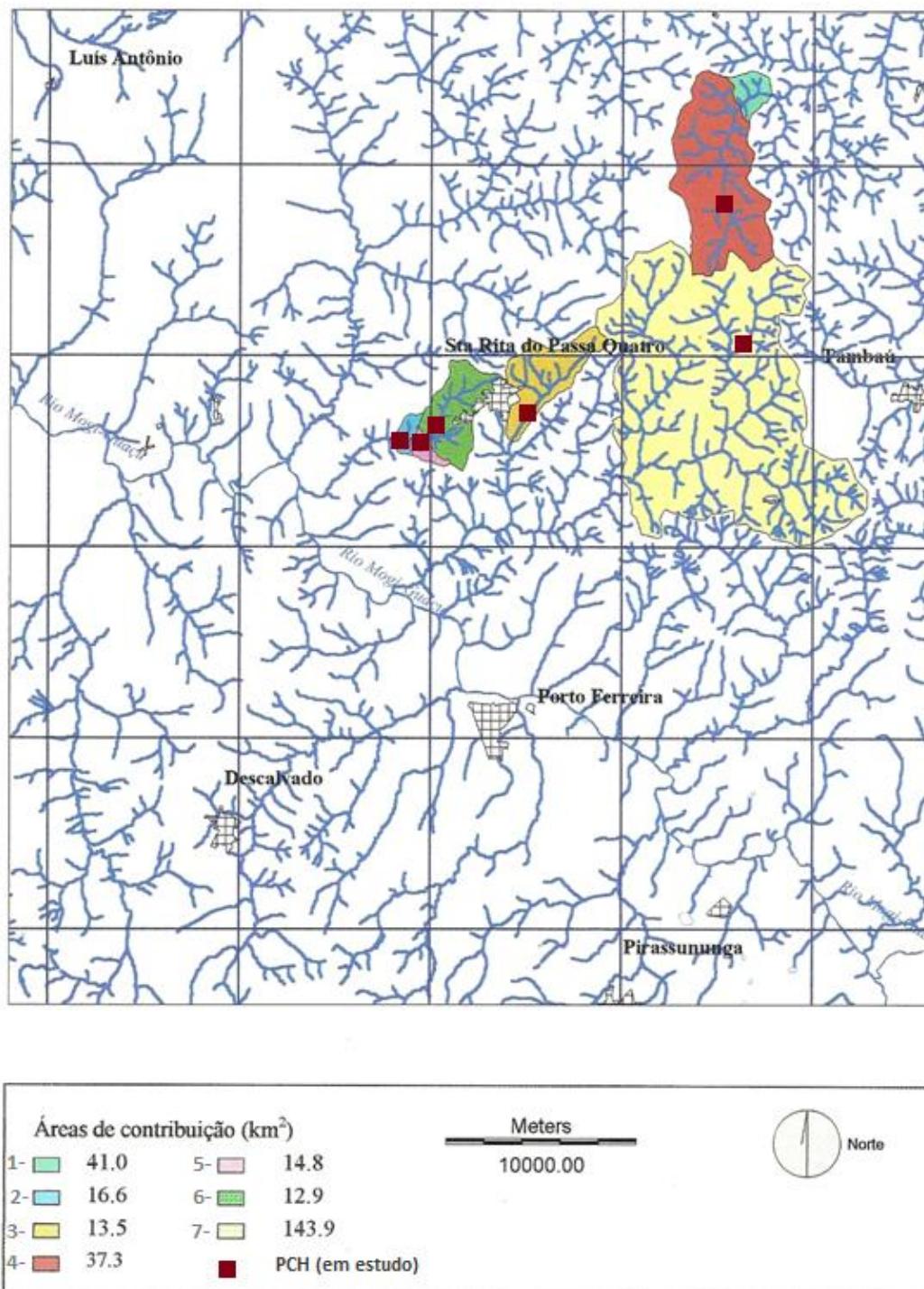


Figura 9: Áreas de contribuição relativa às quedas estudadas.

Os dados do posto Santa Catarina, localizado as margens do rio Mogi-Guaçu, foram usados para geração da curva de permanência e fonte de dados para as quedas presentes no rio Mogi-Guaçu. O outro posto fluviométrico foi usado como fonte de dados e da curva de permanência dos rios secundários da região, pois a estação Agroceres se situa as margens de um rio secundário. As curvas de permanência referentes aos dois postos estão representadas pela Figura 10 e Figura 11. A simulação da vazão na queda em estudo, pode ser calculada por meio de regularização de vazões.

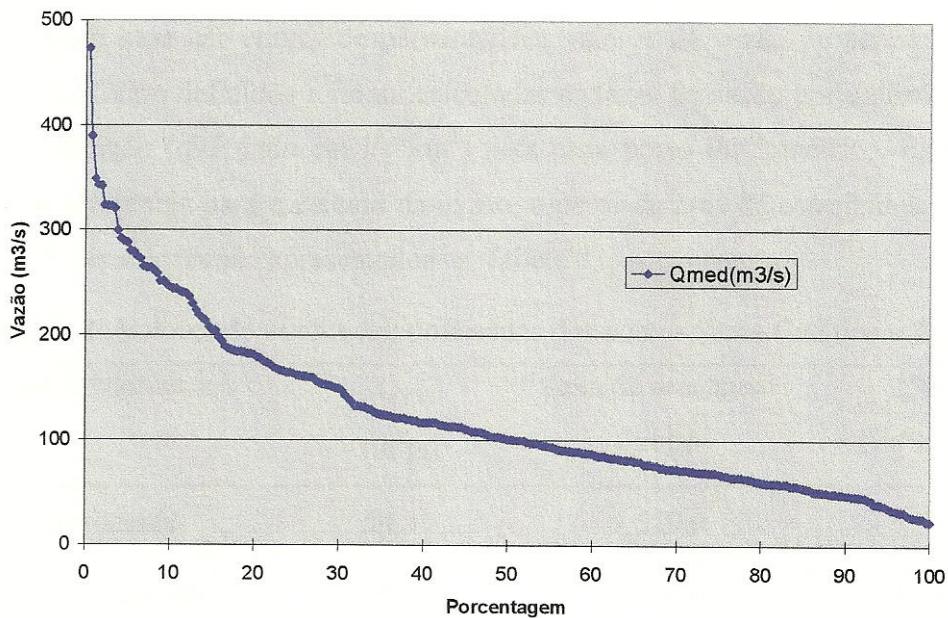


Figura 10: Curva de permanência de vazões mensais do posto fluviométrico Santa Catarina

Fonte: CESP/ANEEL, 1997

Foram definidos com base nas curvas de permanência, os valores de vazão de permanência de 95% (Q_{95}) e em seguida este valor foi usado para calcular as taxas de vazão por unidade de área de contribuição (q_{95} dado em $l/s \cdot km^2$) para cada posto fluviométrico. Esta taxa é um valor de referência para o cálculo da vazão a partir da área de contribuição de cada queda em estudo, e seus valores são apresentados na Tabela 5.

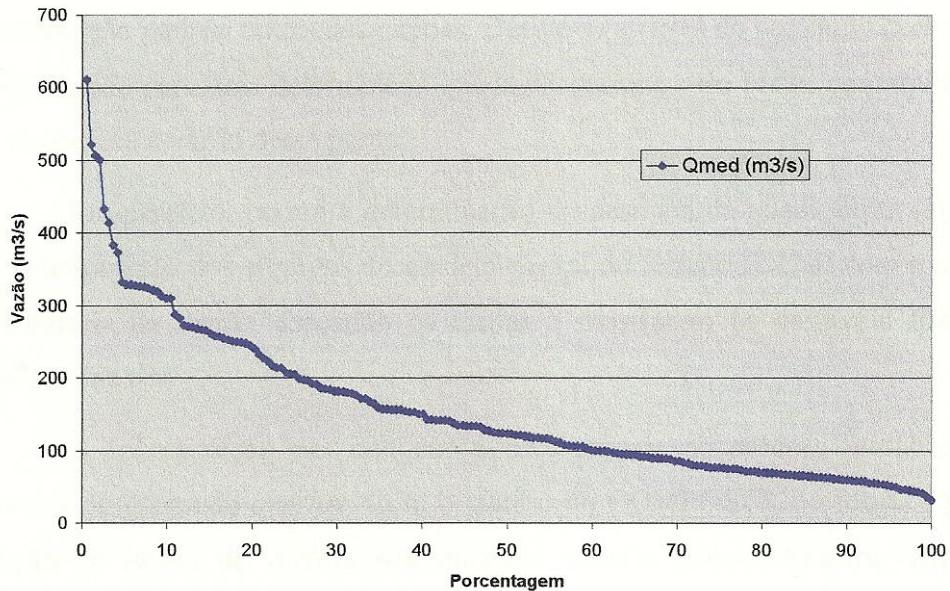


Figura 11: Curva de permanência de vazões mensais do posto fluviométrico Agroceres

Fonte: CESP/ANEEL, 1997

TABELA 5: Valores de vazões regionalizadas dos postos Agroceres e Santa Catarina

Posto Fluviométrico	Q_{95} (m^3/s)	Área de drenagem (km^2)	q_{95} ($l/s \cdot km^2$)
Agroceres	54,31	9.519,0	5,71
Santa Catarina	36,03	9.650,0	3,73

3.3.3. Cálculo do Potencial Hidráulico das Quedas Pré-selecionadas

Sabendo-se a taxa de vazão por área de contribuição dos postos fluviométricos estudados e a área de contribuição da cada queda, foi possível estimar a vazão. Em seguida, definindo-se a distância entre a tomada d'água e a saída da turbina (o mesmo valor foi adotado para TVR, como uma simplificação), foi possível calcular a altura líquida. De posse de tais dados basta calcular a potência possível de ser instalada em cada queda sob estudo.

O potencial hidráulico foi então calculado para resolução de pixel (50m x 50m) e os resultados foram apresentados na Tabela 6.

TABELA 6: Potencial hidráulico de quedas a fio d'água, resolução do pixel (50m x 50m)

Queda	Área de Contribuição (km ²)	Vazão (l/s)	H _B (m)	H _L (m)	Potencial (kW)	TVR (m)
1(Agr.)	41,0	233,8	16,1	15,3	25,6	450
2(Agr)	16,6	94,7	14,9	14,2	9,6	350
3(Agr)	13,5	77,0	47,6	45,2	24,9	400
4(Agr)	37,3	212,9	24,7	23,5	35,8	500
5(Agr)	14,8	84,2	20,0	19,0	11,6	250
6(Agr)	12,9	73,8	31,2	29,6	15,7	400
7(Agr)	143,9	820,8	55,0	52,3	307,1	350

Obs: TVR – Trecho de vazão reduzida.

Pela Tabela 6 pode-se verificar que as quedas selecionadas apresentam de forma geral um potencial hidrelétrico possível de ser aproveitado e portanto são viáveis de implementação na região do estudo, dependendo apenas do interesse de investidores, e da elaboração de estudos de impactos ambientais.

Como complementação a este estudo, por meio do IDRISI e da carta temática de infra-estrutura viária e de detalhes do sistema de distribuição de energia da região, foi possível averiguar a distância mínima entre a rede elétrica e algumas quedas do estudo. Estas distâncias encontradas com o auxílio do software empregado estão mostradas na Tabela 7.

TABELA 7: Distância encontrada entre as quedas e a rede de distribuição de energia elétrica de alta tensão

Alternativas	EE alta tensão	Distânciia (m)		
		Estradas pavimentadas e EE alta tensão	Estradas sem pavimento e EE alta tensão	Menor distância (m)
Queda 1	5231	28620	26216	5231
Queda 2	14270	13675	11222	11222
Queda 3	14478	10811	4904	4904

CAPÍTULO 4: CONCLUSÕES

Devido a saturação de alguns sistemas hidrológicos, quanto a implantação de usinas hidrelétricas de grande porte, percebe-se que uma alternativa para aumentar a demanda instalada é o aproveitamento de pequenos potenciais situados em cursos d'água menos volumosos, mas para os quais não se costuma haver dados tradicionais suficientes para se realizar estudos preliminares.

Ao longo deste trabalho, se propos o uso de uma ferramenta para viabilizar tal estudo preliminar. Esta ferramenta deve ser usada em conjunto a técnicas que nos permitem aferir dados por meios de características de alguns pontos de uma bacia hidrológica e regularizá-los para inferir dados inexistentes ou incompletos sobre rios e quedas de menor potencial. O SIG foi a ferramenta utilizada por meio do software IDRISI, e as técnicas consideradas foram: a regularização de vazões e as diretrizes do DNAEE (atual ANEEL) para o cálculo do potencial hidrelétrico de pequenas centrais.

Esse software, em conjunto com tais técnicas, se mostrou útil para a determinação de locais onde a implantação de centrais hidrelétricas de pequeno porte se apresentem viáveis. Lembrando que o critério de viabilidade para este estudo é o nível da potência calculada para a queda, sendo que se considerou apenas instalações de PCHs a fio d'água e apenas uma tomada d'água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CRUZ, P.T.; BEZERRA, D.M. (1996). Critérios de projeto. In CRUZ, P.T. da. *100 barragens brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projeto*. São Paulo, Oficina de Textos. p.519-543.
- DNAEE. (1987). *Inventário das estações fluviométricas*. Brasília, DNAEE – Divisão de Controle de Recursos Hídricos.
- EASTMAN, J.R. (1992). *IDRISI – user's guide*. Worcester; Clark University.
- EASTMAN, J.R. (1997). *IDRISI for Windows: user guide version 2.0*. Worcester; Clark University.
- EASTMAN, J.R.; HAGAN, J.E.; AUBLE, J. (1998). *CartaLinx, the spatial data builder: user's guide*. Worcester; Clark University.
- ELETROBRÁS; DNAEE (1985). *Manual de microcentrais hidrelétricas*. Brasília, Misnitéro de Minas e Energia.
- GANDOLFI, N. (1968). *Bacia do Mogi-Guaçu: morfologia da drenagem, sedimentação e investigações físico-químicas*. São Carlos. 124p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- LANNA, A.E. (1997). Elementos de estatística e probabilidade. In. TUCCI, C.E.M., org. *Hidrologia – ciência e aplicação*. 2.ed. Porto Alegre, Editora da Universidade /ABRH. Cap. 15, p.84-86. (*Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 4*)
- LOBOSCO, O.S. (1987). *Geração de energia em pequenas centrais hidrelétricas*. São Paulo. 212p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- MACINTYRE, A.J. (1983). *Máquinas motrizes hidráulicas*. Rio de Janeiro, Guanabara Dois.
- MAUAD, F.F. (2002) *SHS-115: Aproveitamentos Hidrelétricos*. Escola de Engenharia de São Carlos: Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo.
- PALOS, J.C.F. et.al. (1987). Regionalização de vazões mínimas, médias, curvas de permanência e volumes de regularização intra-anual em pequenas bacias hidrográficas do estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROGRAFIA E RECURSOS HÍDRICOS, 7./SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS, 3., Salvador, 1987, Anais. Curitiba, ABRH. v.2, p.253-265.

- PAREDES, E.A. (1994). *Sistema de Informações Geográficas – princípios e aplicações (Geoprocessamento)*. São Paulo, Érica.
- PEJON, O.J. (1992). *Mapeamento geotécnico da folha de Piracicaba-SP (Escala 1: 100.000): estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos*. São Carlos. 2v. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SÃO PAULO. Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (1981). *Mapa geológico, Descalvado, folha: SF-23-V-C-IV, 1984; Luis Antônio, Fl: SF-23-V-IV-2, 1986; Pirassununga, Fl: SF-23-V-C-V-3, 1981; Santa Rita do Passa Quatro, Fl: SF-23-V-C-VI, 1981: formações geológicas de superfície – escala 1:50.000*. Rio de Janeiro, Instituto Geológico, Coordenadoria de Pesquisa de Recursos Naturais.
- SCARTAZZINI, L.S. (1993). *Estudo do potencial hidráulico em quedas de água na bacia hidrológica do Rio Pardinho, RS*. Porto Alegre. 106p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- TUCCI, C.E.M. (1997). Regionalização de vazões. In: TUCCI, C.E.M., org. *Hidrologia – ciência e aplicação*. 2.ed. Porto Alegre, Editora da Universidade /ABRH. Cap. 15, p.573-619. (*Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 4*)