

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**LEANDRO WISSMANN
MAURÍCIO NELSON GRANDO**

**ESTUDO PRÉVIO DA INSTALAÇÃO DE UMA PEQUENA
CENTRAL HIDRELÉTRICA NO MANANCIAL DO RIO PATO
BRANCO NO ESTADO DO PARANÁ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PATO BRANCO
2012**

**LEANDRO WISSMANN
MAURÍCIO NELSON GRANDO**

**ESTUDO PRÉVIO DA INSTALAÇÃO DE UMA PEQUENA CENTRAL
HIDRELÉTRICA NO MANANCIAL DO RIO PATO BRANCO NO
ESTADO DO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Andrea Sartori Jabur

Coorientador: Prof. M. Sc. Daniel Carvalho Grannemann

PATO BRANCO

2012

TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO PRÉVIO DA INSTALAÇÃO DE UMA PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA NO MANANCIAL DO RIO PATO BRANCO NO ESTADO DO PARANÁ

por

MAURÍCIO NELSON GRANDO

LEANDRO WISSMANN

Aos 22 dias do mês de junho do ano de 2012, às 13:00 horas, no Mini-auditório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após argüição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco – UTFPR-PB, conforme Ata de Defesa Pública nº 011-TCC/2012.

Orientador: Prof^a. Dr^a ANDREA SARTORI JABUR (COECI / UTFPR-PB)

Coorientador: Prof. Msc. DANIEL CARVALHO GRANNEMANN (COECI / UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof^a. Dr^a HELOIZA APARECIDA PIASSA BENETTI (COECI / UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof^a. Dr^a ELIZÂNGELA MARCELO SILIPRANDI (COECI / UTFPR-PB)

RESUMO

GRANDO, Mauricio Nelson; WISSMANN, Leandro. **Estudo Prévio da Instalação de Uma Pequena Central Hidrelétrica no Manancial do Rio Pato Branco no estado do Paraná**. 2012. 57 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2012.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a possibilidade da instalação de uma Pequena Central Hidrelétrica no manancial do rio Pato Branco-PR, analisando os possíveis efeitos causados por este empreendimento e a observação de alguns aspectos fisiográficos da bacia, tais como, área, perímetro, fator de forma, coeficiente de compacidade, índice de circularidade, densidade de drenagem, declividade do rio, cobertura vegetal, uso e ocupação do solo, relevo e levantamento topográfico para verificar desnível geométrico entre a barragem e a casa de máquinas. Todos estes dados auxiliam na interpretação dos resultados dos estudos hidrológicos, têm influência direta no comportamento da bacia hidrográfica e conseqüentemente, no regime fluvial do curso d'água principal. A área de drenagem da bacia é de 291,5 Km² e a variação de altitude entre a nascente e a barragem é de 320 m o que representa uma declividade média de 7,2 m/km. No processo que estabelece a classificação de cursos d'água utilizou-se a metodologia proposta por Arthur N. Strahler e é classificado como bacia de quarta ordem. A vazão foi obtida através da $Q_{7,10}$ sendo que para a região em estudo é de 26 l/s/Km² totalizando 7,6 m³/s. Após o fechamento do lago, tem-se um aumento de 5 metros no desnível geométrico, totalizando 30,19 metros, e uma área alagada de 0,16 Km², dos quais 49,3% são de áreas agricultáveis e 38,32 de mata ciliar. Por fim, tem-se a potência total instalada que é de 1,68 MW.

Palavras chave: Manancial, Bacia Hidrográfica, Área de Drenagem, Pequena Central Hidrelétrica.

ABSTRACT

GRANDO, Mauricio Nelson; WISSMANN, Leandro. **Appraisal study of installing a small hydroelectric plant in Pato Branco river on Paraná State**. 2012. 57 p. Completion of course work (Bachelor of Civil Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2012.

This work aimed to evaluate the possibility of installing a small hydroelectric plant in the Pato Branco river analyzing the possible effects caused by this development and the observation of some physiographic aspects, such as area, perimeter, form, coefficient compactness, circularity index, drainage density, slope of the river, vegetation, use of the soil, topography and surveying to verify geometric gap between the dam and powerhouse. All these data assist in interpreting the results of hydrological studies, has a direct influence on the behavior of the watershed and hence the flow regime of the main watercourse. The drainage area of the watershed is 291,5 Km² and altitude variation between the source and the dam is 320 meters representing an average slope of 7.2 m / km. In the process determining the classification of waterways used the methodology proposed by Arthur N. Strahler basin and is ranked as the fourth order. The flow rate was obtained from the Q_{7, 10} which one is 26 l/s/Km² for the region under study, totaling 7.6 m³ / s. After closure the lake has an increase of 5 meters in elevation geometric, totaling 30,19 meters, and a flooded area of 0,16 Km², of which 49.3% is arable land and 38.32 forest vegetation. Finally there is the total power which is 1.68 MW.

Keywords: Fountain, Basin, Drainage Area, Small Hydro Power Plant.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma para implantação de uma PCH.	22
Figura 2 - Localização da bacia em estudo dentro do estado do Paraná.....	26
Figura 3 - Roteiro de viagem para trabalho de campo.	27
Figura 4 - Receptor GPS Garmin Etrex.....	28
Figura 5 - Nivelamento Trigonométrico	28
Figura 6 - Estação Total Leica – TC 307.....	29
Figura 7 - Poligonal do levantamento topográfico.	30
Figura 8 - Vazões médias na área da bacia em estudo.	37
Figura 9 - Gráfico H(m) X Q(m ³ /s) para escolha da turbina em função das condições hidráulicas e topográficas.....	40
Figura 10 - Imagens levantamento topográfico.	41
Figura 11 - Delimitação da bacia hidrográfica em estudo.	44
Figura 12 - Perfil do rio da Nascente até a casa de força.	46
Figura 13 - Ordem da bacia segundo Strahler.	47
Figura 14 - Potência da Turbina.	49
Figura 15 - Área alagada pelo reservatório / uso e ocupação do solo	50
Figura 16 - Circuito Hidráulico de Geração.	52

LISTA DE GRÁFICOS, TABELAS E QUADROS

Gráfico 01 – Crescimento do Consumo e da Oferta de energia, entre 1930 e 1945.....	15
Quadro 01 – Classificação da Geração Hídrica.....	16
Tabela 01 – Características morfométricas da bacia hidrográfica do Rio Pato Branco, Pato Branco – PR.....	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVOS.....	11
1.1.1 Objetivo Geral.....	11
1.1.2 Objetivos Específicos.....	11
1.2 JUSTIFICATIVA.....	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DAS PCH's NO BRASIL.....	13
2.2 DEFINIÇÃO DE PCH.....	15
2.3 CLASSIFICAÇÃO.....	16
2.4 DIRETRIZES PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA PCH.....	17
2.4.1 Estudo de Inventário.....	18
2.4.2 Estudo de Viabilidade.....	18
2.4.3 Projeto Básico.....	18
2.4.4 Estudos Básicos.....	20
2.4.5 Fluxograma de atividades para estudo e projeto.....	21
2.5 IMPACTOS AMBIENTAIS.....	23
2.6 CIRCUITO HIDRÁULICO DE GERAÇÃO.....	24
2.7 METODOLOGIA DE TRABALHO.....	24
2.7.1 Localização.....	25
2.7.2 Levantamento Topográfico.....	27
2.7.3 Morfologia.....	30
2.7.4 Impactos Ambientais.....	35
2.7.5 Determinação da Vazão.....	36
2.7.6 Dimensionamento da Turbina.....	38
3. RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES	40
3.1.1 Resultados do Levantamento Topográfico.....	40

3.1.2 Resultados da Morfologia da Bacia	43
3.1.3 Resultados do Levantamento de Vazão	48
3.1.4 Resultados da Escolha da Turbina	48
3.1.5 Resultados dos Impactos Ambientais	49
3.1.6 Resultados do Circuito Hidráulico de Geração	51
4.0 CONCLUSÃO	53
5.0 REFERÊNCIAS.....	54

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o crescimento populacional e um acentuado desenvolvimento econômico fizeram com que houvesse uma crescente demanda no consumo de energia elétrica necessitando um acréscimo constante de geração. Essa demanda vem sendo acompanhada por uma preocupação mundial com os aspectos ambientais decorrentes dos combustíveis fósseis, que representam atualmente cerca de 80% da energia consumida no mundo como afirma Amaral *et. a.* (2009).

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a matriz de energia elétrica brasileira é predominantemente renovável sendo a hidroeletricidade responsável pela geração de 67,31% da energia do país. Porém, apesar de todos os recursos hídricos, a geração de energia hidrelétrica possui limitações físicas, socioeconômicas e ambientais.

Com a criação do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e de programas como Programa de Incentivo de Fontes Alternativas de Energia (PROINFRA) criou-se no Brasil um novo ciclo de exploração do mercado de energia. As Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's) são consideradas Fontes Alternativas de Geração de Energia, por serem renováveis e não poluentes, conforme descrito no Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas (CERPCH) (2011). De acordo com a Resolução nº394 (1998), Pequena Central Hidrelétrica (PCH) é toda usina hidrelétrica de pequeno porte cuja capacidade instalada seja superior a 1 MW e inferior a 30 MW. Além disso, a área do reservatório deve ser inferior a 3 km².

Uma PCH típica normalmente opera a fio d'água onde não é permitida a regularização do fluxo d'água do reservatório diminuindo impactos ambientais. Porém, em épocas de estiagem a vazão disponível pode ser menor que a capacidade das turbinas, causando ociosidade. Podem ocorrer vazões maiores que a capacidade de geração, permitindo a passagem da água pelo vertedouro. Esse é um fator que faz com que o custo da energia elétrica produzida em PCH's seja maior que o de uma Usina Hidrelétrica (UHE), onde se tem o controle do reservatório de forma a diminuir a ociosidade e desperdícios de água, como é detalhado em CERPCH (2011).

O CERPCH (2011) ressalta que as PCH's são instalações que resultam em menores impactos ambientais e se prestam à geração descentralizada. Este tipo de

hidrelétrica é utilizado na maioria dos casos em rios de pequeno e médio porte que possuam desníveis significativos durante seu percurso, gerando potência hidráulica suficiente para movimentar as turbinas.

Lago e Nóbrega (2001) ressaltam que as Pequenas Centrais Hidrelétricas representam uma forma rápida e eficiente de promover a expansão da oferta de energia elétrica. Por ser menor e mais distribuído, esse empreendimento atende melhor às necessidades de carga de pequenos centros urbanos e regiões rurais, já que é ligado ao Sistema Interligado Nacional. Esse motivo que levou o governo a simplificar o processo de outorga e conceder uma série de benefícios ao empreendedor para estimular os investimentos.

Mendes(2010) mostra que estudos indicam a possibilidade de 245 projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's) em todas as regiões do estado do Paraná. Já são mais de 30 PCH's em operação (181 MW) e 23 já outorgadas (370 MW). 148 PCH's já estão com empreendedor definido ou em processo de definição, totalizando 1.400 megawatts de potência instalada.

Uma opção, não listada por Mendes (2010), de implantação de projeto de PCH encontra-se no rio Pato Branco, localizado na sub-bacia 65, estado do Paraná e tem suas nascentes no município de Mariópolis, seguindo no sentido sul-norte na divisa dos municípios Pato Branco e Clevelândia até a foz no rio Chopim.

Seus principais afluentes são o rio Pinheiro, rio do Poço Preto, pela margem direita, rio Conrado e rio Tamanduá, pela margem esquerda. Sua extensão total de 44 km se estende por um desnível de 320 m, chegando a uma declividade média de 7,2 m/km e área de drenagem, no exutório, de aproximadamente 291 km².

O rio Pato Branco é responsável pelo abastecimento da cidade através de captação de água Pato Branco, conforme dados da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) (2011), tem uma vazão de outorgada de 658 m³/hora, equivalente a 0,18 m³/s.

O presente trabalho se refere a uma avaliação prévia para instalação de uma PCH, localizada no manancial do rio Pato Branco, verificando a possibilidade de instalação, a potência de geração de energia quais as proporções dos impactos na área alagada, causados por esta PCH.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a possibilidade técnica da instalação de uma pequena central hidrelétrica (PCH) no manancial do rio Pato Branco analisando os possíveis efeitos causados por este empreendimento.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Efetuar levantamento de topográfico de campo;
- b) Delimitação da bacia hidrográfica e levantamento morfométrico;
- c) Elaborar o perfil topográfico do rio;
- d) Identificar potência a ser instalada no empreendimento;
- e) Avaliar a possibilidade técnica de instalação do empreendimento.
- f) Identificar a capacidade do uso da terra, na área de formação do lago.

1.2 JUSTIFICATIVA

A criação do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e de programas como Programa de Incentivo de Fontes Alternativas de Energia (PROINFRA), Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica (Luz para Todos) bem como o aumento da preocupação com o meio ambiente, fez com que o Brasil passasse por um novo ciclo de exploração do mercado de energia. Frente a isso se vê no Brasil uma grande procura por opções de investimento em PCH's.

Para Lago e Nóbrega (2001) as PCH's representam atualmente uma forma rápida e eficiente de promover a expansão da oferta de energia elétrica e visam suprir uma crescente demanda de energia elétrica no mercado nacional. Esse empreendimento atende melhor às necessidades de carga de pequenos centros urbanos e regiões rurais, uma vez que, na maioria dos casos, complementa o fornecimento realizado pelo sistema interligado.

A Associação Brasileira de Energia Limpa (ABRAGEL) (2010) diz que as Pequenas Centrais Hidrelétricas são responsáveis por quase 3% da energia

produzida em todo o território nacional e são elos importantes da cadeia energética brasileira. O potencial de geração das PCH's, que pode ser desenvolvido nas próximas quatro décadas, é estimado em 25 mil megawatts, o que pode corresponder a 8% da oferta total de energia no País.

Moura e Santi (2008) consideram as PCH's como fontes de energia limpa, que geram energia de forma distribuída e oferecem grande segurança energética. Outra consequência positiva desse modal de energia é o aquecimento econômico impulsionado pela geração de empregos e prestação de serviços demandados durante as obras. Também há vantagens indiretas, como as melhorias na infraestrutura das cidades, que recebem novas ruas e estradas, e o aumento na arrecadação municipal e estadual.

O presente trabalho justifica-se pelo fato de o rio Pato Branco ser responsável pelo abastecimento da cidade de Pato Branco – PR, com vazão na captação outorgada em 658 m³/hora, equivalente a 0,18 m³/s e é inédito, pois propõe o estudo hidrológico deste rio, que ainda não fora inventariado (o termo inventário será esmiuçado na fundamentação teórica) a ser utilizado para aproveitamento de geração de energia hidroelétrica.

Os recursos disponíveis para a realização do projeto, tais como, dados e prazos, equipamentos, informações disponíveis e da teorização a respeito do tema tornam o estudo tecnicamente possível e economicamente viável, pois, os prazos para realização são coerentes e pode-se, assim, coletar as informações em tempo hábil, bem como se tem acesso a uma gama de conteúdo já consolidado.

Portanto, mediante o exposto, considera-se que o estudo atende aos requisitos de importância, originalidade e viabilidade preconizado por Castro (1977) como sendo os pré-requisitos para o desenvolvimento do projeto.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DAS PCH's NO BRASIL.

A produção de energia elétrica no Brasil através de Pequenas Centrais Hidrelétricas teve início no século XIX. Machado *et. al* (2011) afirma que nesta época ainda existia uma predominância pela energia térmica para o suprimento das grandes cidades.

Na primeira metade do século XX, as PCH's instaladas visavam principalmente atender sistemas isolados nos estados. Construídas por pequenos empresários da época ou por prefeituras municipais. Este processo teve uma rápida expansão no período 1920/1930 e continuou até a década de 40, porém em taxas menores que nas décadas anteriores. A partir da década de 1940, surgem as empresas estaduais de energia elétrica. (FILHO, 2006).

Mello (2008) relata que no período entre 1930 a 1945, a demanda por energia elétrica cresceu mais que a oferta, impulsionada por um acelerado processo de industrialização. Um bom exemplo pode ser visto no Gráfico 01, onde apresenta que nas cidades de São Paulo e do Rio de Janeiro a demanda cresceu cerca de 250% e a capacidade instalada cresceu apenas 72,3%. Esse aumento expressivo da demanda ocorreu em todas as regiões e acabou com a folga que havia na oferta no final da década de 20, fruto de investimentos realizados na década anterior, acarretando no início da década de 40, no risco de falta de energia.

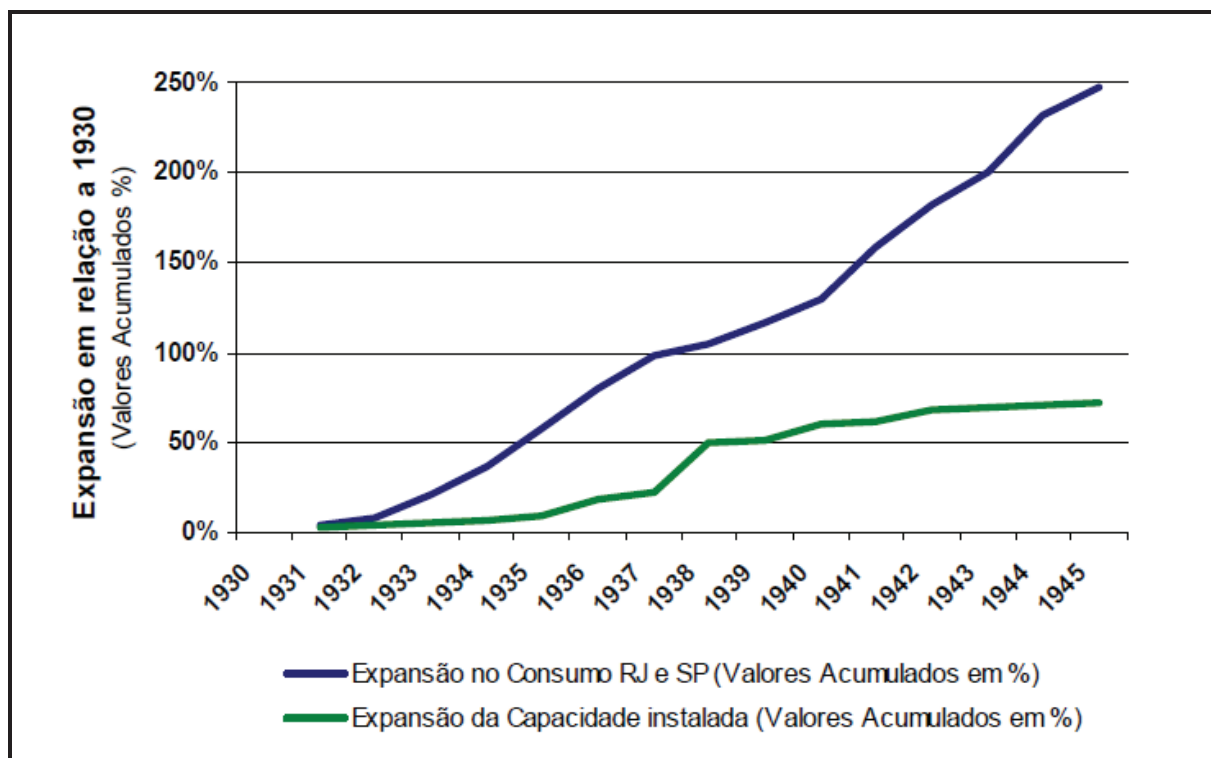


Gráfico 1: Crescimento do Consumo e da Oferta de energia, entre 1930 e 1945

Fonte: Mello (2008)

Filho (2006) descreve que na década de 1980, o Governo Federal procurou incentivar a implantação de pequenas centrais através do Programa Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PNPCH) do Ministério de Minas e Energia (MME) disponibilizando estudos, cursos, subsídios técnicos e legais para o desenvolvimento do assunto.

Machado e Pedroso (2011), afirmam que essa fonte de energia foi alavancada a partir de 1980, através de medidas governamentais como a criação do Programa Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PNPCH) e subsídios como a publicação do primeiro Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas. A partir do final da década de 90 surgiram os incentivos para implementações de PCH's, dentre as principais a isenção do pagamento de compensação financeira pela utilização de recursos hídricos, descontos nas tarifas de uso dos sistemas de distribuição e transmissão e Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA).

Atualmente existe no país um total de 402 PCH's em operação, cuja potência instalada é cerca de 3.600 MW, além de outros 2.700 MW de PCH's outorgadas ou em construção (ANEEL, 2011).

2.2 DEFINIÇÃO DE PCH

Com o passar do tempo, muitas foram às alterações feitas para que um empreendimento atenda os critérios e seja enquadrada como PCH. Em 1996, com a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que por meio da Resolução nº. 394 (1998) estabeleceram novos critérios para Pequenas Centrais Hidrelétricas. Segundo a resolução, passaram a ser consideradas PCH's os aproveitamentos hidrelétricos com:

- Potência igual ou superior a 1,0 MW e igual ou inferior a 30,0 MW
- Área total de reservatório igual ou inferior a 3,0 km²
- Cota d'água associada à vazão de cheia com tempo de recorrência de 100 anos.

A ANEEL (2003) através da Resolução nº 652 alterou a área do reservatório, sendo que se o limite de 3 km² seja excedido, o aproveitamento ainda será considerado com características de PCH se a Equação 01 for satisfeita:

$$A \leq \frac{14,3 \times P}{H_b} \quad (01)$$

Onde:

A = Área do reservatório (Km²)

P = Potência elétrica instalada (MW)

H_b = Queda bruta do aproveitamento (m)

A queda bruta é dada pela diferença entre os níveis d'água máximos normal de montante e normal de jusante (ANEEL, 2003).

Para Machado e Pedroso (2011) no contexto da ONU (Organização das Nações Unidas), as PCH's são consideradas fontes renováveis de energia, que quando conectadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN) cada Megawatts Hora (MWh) produzido pela usina pode ser convertido em créditos de carbono. Em síntese, a geração de um crédito de carbono significa que a PCH contribuiu para reduzir a emissão de uma tonelada de gás carbônico que seria emitido pelo SIN devido à operação de usinas termelétricas que queimam combustíveis fósseis na margem.

2.3 CLASSIFICAÇÃO

Segundo o Centro de Referência de Pequenas Centrais Hidrelétricas (CERPCH) (2011) a classificação da geração hídrica é feita conforme apresentado no Quadro 01.

Hidrelétricas	Potência
1. Grandes Centrais (CGH)	Acima de 50 MW
2. Medias Centrais (UHE)	De 30 a 50 MW
3. Pequenas Centrais (PCH)	De 01 a 30 MW
4. Micro Central (MCH)	De 20 até 100 KW
5. Pico Central (PCH)	Até 20 KW

Quadro 1: Classificação da Geração Hídrica
Fonte: CERPCH (2011)

Filho (2006) refere-se à fonte de energia hidráulica no Brasil como três classes distintas de empreendimentos: as Mini Centrais Hidrelétricas-mCHs ($P \leq 1.000$ kW), as Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH's (1.000 kW $< P \leq 30.000$ kW) e as Usinas Hidrelétricas – UHEs ($P > 30.000$ kW).

De acordo com a ANEEL (2011), atualmente os principais tipos de geração de energia elétrica no Brasil são através de:

- CGH - Central Geradora Hidrelétrica;
- CGU - Central Geradora Undi-Elétrica;
- EOL - Central Geradora Eolielétrica;
- PCH - Pequena Central Hidrelétrica;
- SOL - Central Geradora Solar Fotovoltaica;
- UHE - Usina Hidrelétrica de Energia;
- UTE - Usina Termelétrica de Energia;
- UTN - Usina Termonuclear.

A ELETROBRÁS (Centrais Elétricas Brasileiras S.A.) (1982), em seu manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas classifica os tipos de PCH, quanto à capacidade de regularização do reservatório, sendo elas:

- Fio d'Água;
- Acumulação, com Regularização Diária do Reservatório;
- Acumulação, com Regularização Mensal do Reservatório.

Segundo a ELETROBRÁS (1982), as PCH's que operam a fio d'água são empregadas sempre que as vazões de estiagem do rio forem iguais ou maiores que a descarga necessária à potência a ser instalada para atender à demanda máxima prevista, desprezando-se o volume do reservatório criado pela barragem. O aproveitamento energético local será parcial e o vertedouro funcionará na quase totalidade do tempo, extravasando o excesso de água.

Para Barbieri (2005) esse tipo de PCH apresenta as seguintes simplificações:

- Dispensa estudos de regularização de vazões;
- Dispensa estudos de sazonalidade da carga elétrica do consumidor; e
- Facilita os estudos e a concepção da tomada d'água.

Quanto ao sistema de adução o manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas (1982) da Eletrobrás considera dois tipos de PCH:

- Adução em baixa pressão com escoamento livre em canal / alta pressão em conduto forçado;
- Adução em baixa pressão por meio de tubulação / alta pressão em conduto forçado.

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

2.4 DIRETRIZES PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA PCH

A Eletrobrás, através de suas Diretrizes Para Implantação de PCH's (2000) mostra que todo o processo de implantação de uma PCH é dividido em etapas, sendo que a primeira está relacionada com o levantamento das informações do local da instalação, dados topográficos, geográficos e ambientais que respaldem a elaboração do projeto, com foco principal nas características do curso d'água e na bacia hidrográfica.

Depois de detectado um potencial hidrelétrico o próximo passo é verificar se o rio já possui inventário. Caso ele não tenha, faz-se um estudo para o detalhamento

do potencial do curso d'água e a partição de quedas. A viabilidade do projeto vai depender quase que em sua totalidade do impacto ambiental causado. A elaboração dos estudos de inventário é baseada em informações de campo, baseado em estudos hidrológicos, energéticos, geológicos, ambientais e de outros usos da água. (ELETROBRÁS, 2000).

Elaborado o inventário hidrelétrico inicia-se o estudo de viabilidade, etapa de definição da concepção global de um dado aproveitamento. Estes estudos buscam uma otimização técnico-econômica e ambiental, além de avaliarem benefícios e custos associados. Na sequência é solicitado o registro ativo junto à ANEEL e elaborado o projeto básico, no qual são detalhadas as obras civis e os equipamentos hidromecânicos e eletromecânicos.

2.4.1 Estudo de Inventário

O estudo do inventário hidrelétrico é a avaliação do potencial de geração de energia de uma unidade hidrográfica. É a etapa de estudos de engenharia em que se define o potencial hidrelétrico de uma bacia hidrográfica. É um instrumento que além de quantificar os aspectos energéticos, considera também os procedimentos de minimização de impactos ambientais observando o uso múltiplo dos recursos hídricos (ANEEL, 2007).

2.4.2 Estudo de Viabilidade

Os estudos de viabilidade, iniciados a partir da aprovação dos estudos de inventário hidrelétrico, definem a concepção global de um aproveitamento hidroelétrico (ELETROBRÁS, 2000). Para os casos de PCH's, esta etapa não é formalmente exigida, podendo o empreendedor iniciar diretamente o projeto básico.

No entanto, os estudos que o compõem continuam necessários e acabam sendo executada, parte no âmbito do estudo de inventário e parte no projeto básico.

2.4.3 Projeto Básico

De acordo com as Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS, 2000), o projeto básico de uma PCH consiste no

detalhamento dos estudos de engenharia do eixo do aproveitamento integrante da alternativa de divisão de quedas selecionadas nos estudos de inventário hidrelétrico aprovados pela ANEEL.

Essa concepção vai desde o dimensionamento da central geradora identificando todas as obras de infraestrutura necessárias à sua implantação, o seu possível reservatório, os outros usos da água e todas as ações ambientais correspondentes. Tais fatores determinam um orçamento da central, o que permitirá contratação das obras civis e do fornecimento e montagem dos equipamentos eletromecânicos. O processo de autorização começa em tornar público um projeto básico, devendo este ter registro na Superintendência de Gestão e Estudos Hidroenergéticos (SGH).

Se o projeto for aceito pela SGH, é feita uma análise e posterior aprovação, desde que tenha Licença Prévia (LP) emitida pelo órgão ambiental, Declaração de reserva de disponibilidade hídrica emitida pelo órgão gestor de recursos hídricos e Compatibilidade do projeto básico com LP e a Declaração de reserva e disponibilidade hídrica. Em paralelo ao processo de projeto da central são realizadas as atividades para viabilizar o licenciamento ambiental. O processo de licenciamento ambiental é dividido em três etapas; licença prévia, licença de instalação e licença de operação.

Para Moura e Santi (2008) por ser uma atividade potencialmente poluidora e degradadora do meio ambiente, causadora de impactos ambientais negativos, os projetos de PCH's devem ser submetidos ao processo de licenciamento ambiental, em todas as fases de seu desenvolvimento, desde o planejamento, quando é solicitada a Licença Prévia, que analisa a viabilidade ambiental do empreendimento tomando-se como referência as informações e análises consolidadas no Estudo de Impacto Ambiental, passando pela Licença de Instalação, que autoriza o início da implantação do projeto e por último a Licença de Operação, que autoriza o início da operação da usina.

A Licença Prévia (LP) é a uma fase anterior a qualquer ato material em relação ao empreendimento. Essa licença aprova sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a ser atendido nas próximas fases de sua implementação. Não havendo incompatibilidade entre o projeto e tais planos, devidamente consubstanciados em atos legais, e desde que o órgão ambiental mantenha o

entendimento de que a localização do empreendimento não será danosa, poderá ser concedida a Licença Prévia. (GRANZIERA, 2006)

Granziera (2006) diz também que a finalidade da Licença de Implantação (LI) é autorizar a implantação do projeto, de acordo com o projeto de execução aprovado. Nessa fase, será verificado se as inúmeras normas e padrões de qualidade e emissões, estabelecidas pela legislação federal ou estadual foram cumpridas.

O manual de Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas da Eletrobrás (2000) trata a Licença de Operação (LO) como uma autorização para operação comercial do empreendimento. A emissão desta licença é condicionada a uma vistoria onde é verificado se a central está de acordo com a licença prévia e a licença de instalação e também se todas as exigências e detalhes técnicos descritos no projeto aprovado foram desenvolvidos e atendidos ao longo da implantação.

2.4.4 Estudos Básicos

A Eletrobrás, através de suas Diretrizes Para Implantação de PCH's da Eletrobrás (2000), estabelece que alguns Estudos Básicos devem ser realizados, como:

- Estudos topográficos;
- Estudos Geológicos e Geotécnicos;
- Estudos Hidrológicos.

A partir dos dados levantados do local, fazem-se os estudos topográficos que vão desde a elaboração da base cartográfica em escala adequada ao desenvolvimento do projeto, a determinação da queda bruta disponível no local, levantamento do perfil do rio na área de interesse e volume do reservatório. E também se for necessário a locação das estruturas, locação dos furos de sondagem e locação do reservatório.

O manual faz menção aos estudos geológicos e geotécnicos. Estes devem compreender os projetos de escavação e tratamento das fundações, a caracterização completa dos materiais naturais de construção disponíveis nas jazidas mais próximas do sítio do empreendimento e para barragens de terra ou enrocamento com alturas superiores a 10 m, deverão ser realizados estudos de

estabilidade. Para a escolha do eixo da barragem, deve-se ficar atento e sempre procurar locais com boas condições para a fundação das ombreiras.

2.4.5 Fluxograma de atividades para estudo e projeto.

O manual de Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas da Eletrobrás (2000) menciona uma série de atividades sujeitas a regulamentações de ordem institucional ambiental e comercial durante o processo de implantação do empreendimento, atividades multidisciplinares permeiam-se entre si, constituindo o arcabouço legal de todo o projeto. Todas as etapas podem ser vistas na Figura 01.

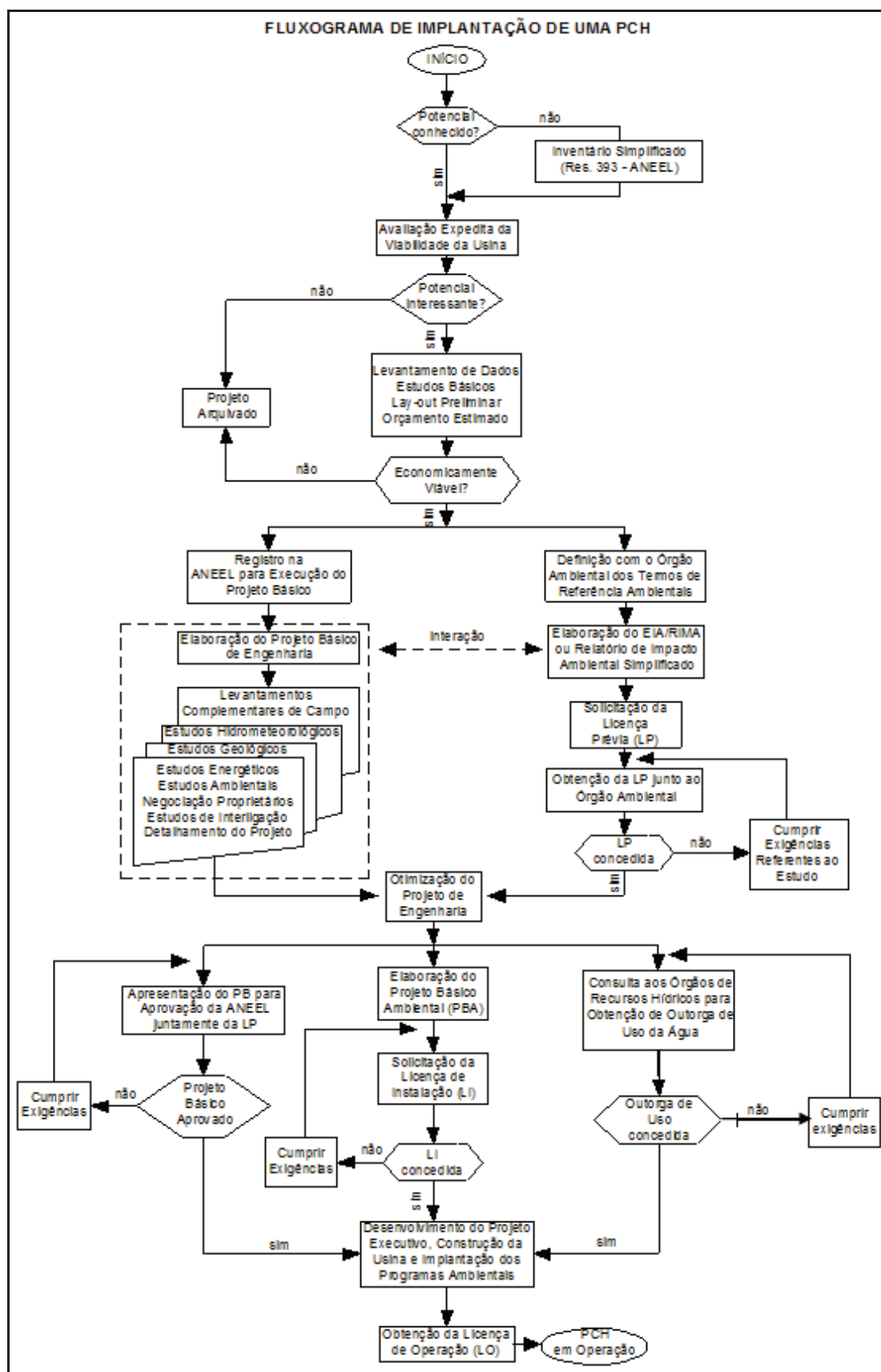


Figura 1 - Fluxograma para implantação de uma PCH.

Fonte: Manual de Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas da Eletrobrás (2000)

2.5 IMPACTOS AMBIENTAIS

Por não necessitar de vultosas obras em curso d'água ou grandes reservatórios, as PCH's não provocam alagamentos ou modificações em rios, tendo impacto ambiental consideravelmente menor. Tem ainda um baixo custo de instalação, sendo um empreendimento economicamente viável. Porém, mesmo com todos esses atributos esse tipo de projeto necessita de um estudo de impactos ambientais, e procedimento administrativo de Licenciamento Ambiental, a fim de avaliar sua viabilidade do empreendimento, é o que afirma Pereira *et. al.* (2011).

Os impactos da construção de uma PCH devem ser bem documentados, sendo estes relacionados ao tamanho, volume, tempo de retenção do reservatório, localização geográfica e localização do rio. Os principais impactos detectados são a inundação de áreas agricultáveis, perda de vegetação e da fauna terrestres, mudanças hidrológicas a jusante da represa, alterações na fauna do rio interferências no transporte de sedimentos, alterações em atividades econômicas e usos tradicionais da terra, perda da biodiversidade, terrestre e aquática, efeitos sociais por realocação e interferência na migração dos peixes. (NILTON, 2009)

A identificação dos impactos ambientais é realizada de acordo com as características socioeconômicas e ambientais da área de influência do empreendimento. A futura situação ambiental de uma área destinada à implantação de uma PCH é analisada considerando-se aspectos relativos ao meio físico (clima, relevo, solos, geologia e hidrologia) meio biótico (cobertura vegetal, vegetação ciliar e espécies da fauna) e meio socioeconômico (núcleos urbanos, demografia, patrimônio cultural), conforme Moura e Santi (2008).

A síntese dos estudos ambientais da obra devem incluir a caracterização do empreendimento, o diagnóstico ambiental da região onde este será inserido, a identificação e a análise dos impactos ambientais nas fases de projeto, construção e operação, a proposição de medidas mitigadoras e/ou compensatórias dos impactos negativos ou de maximização dos benefícios relativos aos impactos positivos e dos programas ambientais implementados (ALMEIDA, 2006).

Nem todos os efeitos da construção de uma PCH são negativos. Nilton (2009) considera alguns efeitos positivos como exemplo a principal delas que é a produção de energia, retenção de água regionalmente, aumento do potencial de água potável e de recursos hídricos reservados, possibilidades de recreação e

turismo, aumento do potencial de irrigação, aumento e melhoria da navegação e transporte, regulação do fluxo e inundações e aumento das possibilidades de trabalho para a população local.

Moura e Santi (2008) consideram impactos ambientais positivos a geração de empregos diretos e indiretos na fase da construção, incremento do setor terciário dos municípios envolvidos, aumento na arrecadação de impostos, a valorização imobiliária das propriedades do entorno do reservatório, aumento da oferta de energia elétrica, criação de postos de trabalho e o recolhimento do ICMS.

2.6 CIRCUITO HIDRÁULICO DE GERAÇÃO

O circuito de geração é constituído por canais, tomadas d'água, condutos ou túneis de baixa pressão, eventuais chaminés de equilíbrio ou câmaras de carga, condutos ou túneis de alta pressão, casa de força e canal ou túnel de fuga. A concepção do circuito de geração deve ser realizada de forma a implantar a casa de força à jusante da queda concentrada de maneira a aproveitar ao máximo o desnível disponível. Posteriormente, deve-se buscar reduzir o comprimento total do circuito de forma a encontrar a solução mais rápida, prática e econômica (Ministério de Minas e Energia, 2007).

O circuito de adução é condicionado também pela topografia, aspectos geológicos geotécnicos e socioambientais. Quando possível, a solução de adução por canais é geralmente a mais econômica. Na utilização de túneis de adução, é preciso avaliar a necessidade de construção de uma chaminé de equilíbrio, pois esta pode configurar-se como um custo significativo (ELETROBRÁS, 2000).

2.7 METODOLOGIA DE TRABALHO

O trabalho se apresenta inicialmente sob caráter documental, onde foram buscados juntos aos órgãos reguladores, dados, leis e resoluções pertinentes ao assunto, para verificar a possibilidade de instalar ou não um empreendimento de geração de energia hidroelétrica juntamente com fornecimento de água.

Na segunda etapa com características exploratórias se fez a identificação de possíveis potenciais analisando o perfil topográfico do rio, onde dentre todos os pontos encontrados se optou por um ponto a jusante da captação da SANEPAR.

Definido o potencial foi executado um estudo de campo para comprovação da queda bruta do rio, determinação das áreas de impacto ambientais provenientes enchimento do lago, área de drenagem, levantamento morfométrico e escolha da turbina a ser implantada.

2.7.1 Localização

A bacia do rio Pato Branco-PR tem o rio de mesmo nome como o principal rio desta bacia. Localiza-se na sub-bacia 65, estado do Paraná, como pode ser visto na Figura 02. Tem suas principais nascentes no município de Mariópolis e segue no sentido sul-norte na divisa dos municípios Pato Branco e Clevelândia até a foz no rio Chopim, onde é afluente pela margem esquerda.

Seus principais afluentes são: rio Pinheiro, rio do Poço Preto, pela margem direita, rio Conrado e rio Tamanduá, pela margem esquerda.

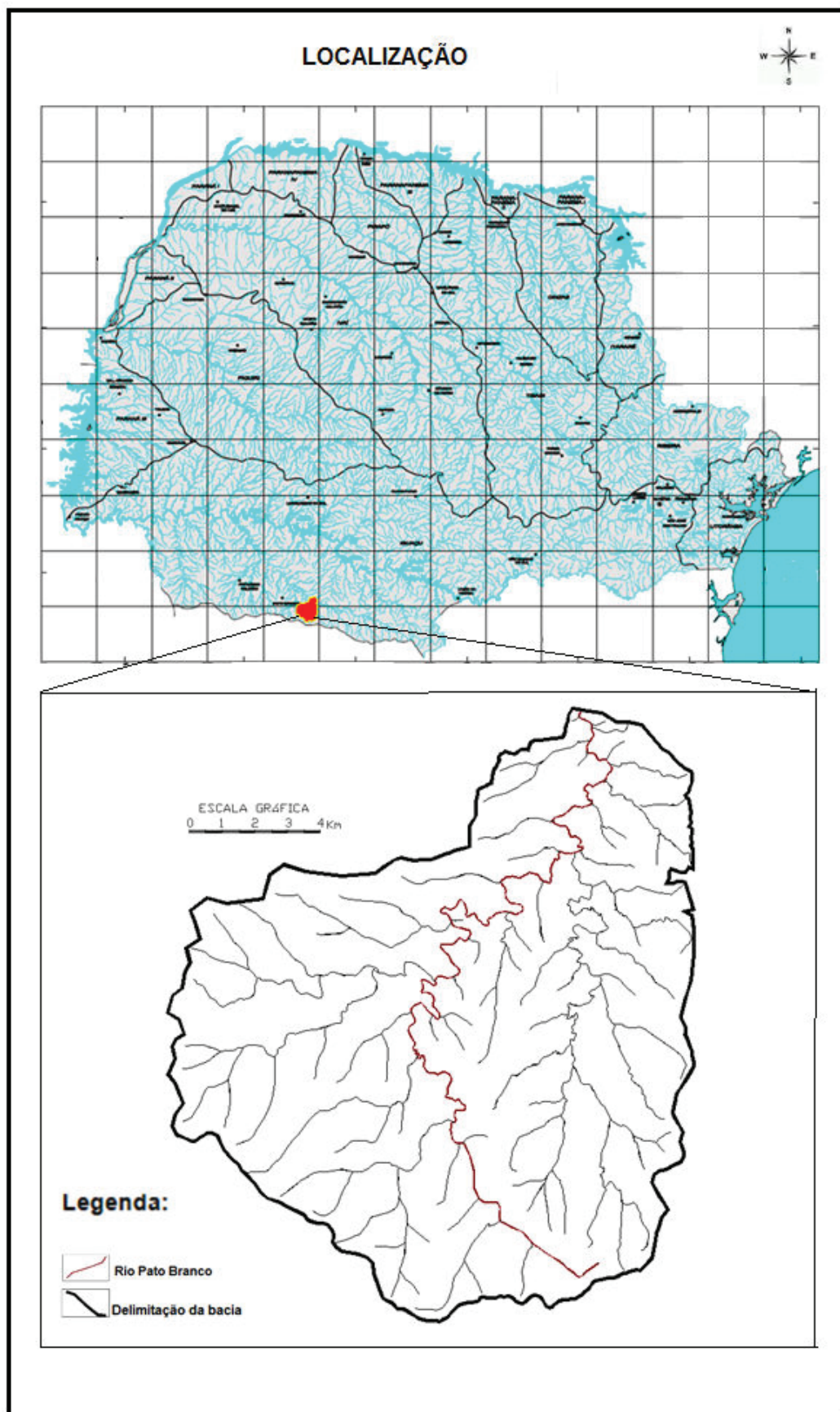


Figura 2 - Localização da bacia em estudo dentro do estado do Paraná.
Fonte: Modificado do Instituto de Águas do Paraná (2012) e Carta topográficas do IBGE (1982).

2.7.2 Levantamento Topográfico

O projetista busca resolver problemas relativos a cada fase do projeto, tomando decisões baseadas no máximo de informações possíveis. Em obras de infraestrutura, como uma PCH, a topografia da região é um fator determinante para implantação do empreendimento (JUNIOR e LOPES, 2010), por esse motivo foi executado um levantamento topográfico para confirmar a queda bruta do rio.

Para facilitar a localização do ponto em estudo se utilizou o programa *Google Earth*, na versão 2012, o programa que tem a função de apresentar um modelo tridimensional do globo terrestre, construído a partir de mosaico de imagens de satélite obtidas de fontes diversas, imagens aéreas (fotografadas de aeronaves). Com isso, é possível identificar lugares, construções, cidades, paisagens, entre outros elementos (Google, 2012). Dessa maneira traçou-se um roteiro para deslocamento da equipe de trabalho pelas estradas vicinais do município de Pato Branco – PR até o ponto do possível empreendimento, (Figura 03).

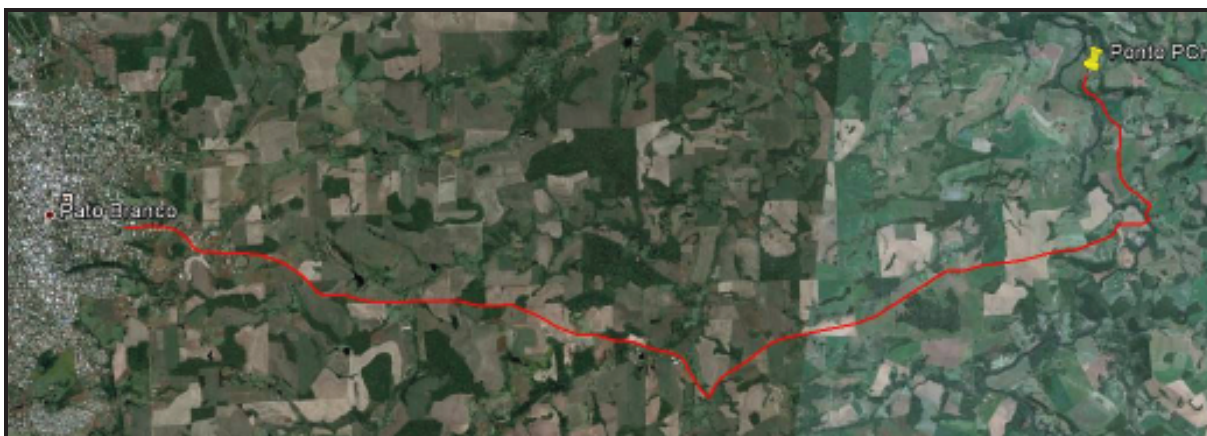


Figura 3 - Roteiro de viagem para trabalho de campo.
Fonte: *Google Earth* (2011)

Além do roteiro, inseriram-se as coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), sendo para E: 346322 m e N: 7099871 m, e registrou-se no equipamento de navegação, Receptor GPS (Global Positioning System) com precisão de 15 metros (Figura 04), segundo o manual do equipamento, esse procedimento foi adotado para certificar o local de estudo.



Figura 4 - Receptor GPS Garmin Etrex

Fonte: <http://www.eportateis.com.br/gps/etrexlegendh.shtml> (2012).

O objetivo do levantamento foi obter o desnível entre o ponto do barramento e o ponto onde será instalada a casa de força. Para executar o levantamento se utilizou o método do Nivelamento Trigonométrico que se baseia na resolução de um triângulo retângulo, a partir de informações relativas às distâncias horizontal ou inclinada, ângulos verticais e horizontais, altura do instrumento e do prisma (VEIGA et al, 2005) (Figura 05).

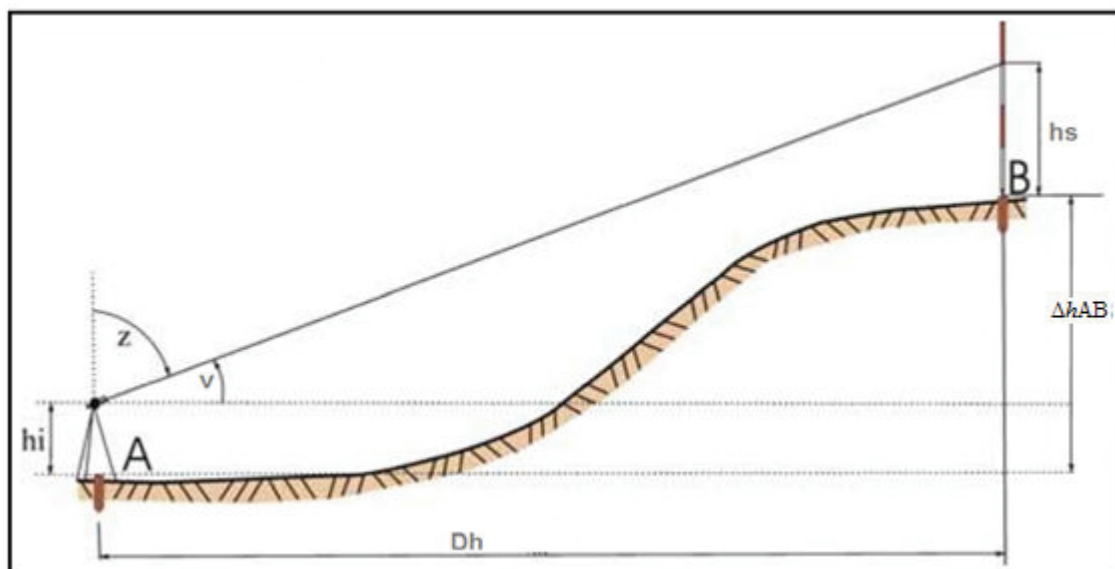


Figura 5 - Nivelamento Trigonométrico

Fonte: VEIGA et al, 2005.

Como este levantamento, segundo NBR 13133 – Execução de Levantamento Topográfico (ABNT, 1994), é considerado de pequena extensão não há necessidade de se corrigir a curvatura terrestre e a refração atmosférica nos cálculos, ver nota A na página 17 da NBR 13133, tais itens não pormenorizados, pois não é o foco do trabalho.

Para executar o levantamento foi utilizada a Estação Total Leica – TC307 (Figura 06), cedida pela UTFPR – PB, com precisão angular de 7" e de $\pm(2\text{mm} + 2\text{ppm})$ na medição de distância (LEICA, 2012).



Figura 6 - Estação Total Leica – TC 307.
Fonte: Autores.

Avaliado o local, foram dispostas possíveis visadas, de maneira que alcançasse maiores distâncias possíveis, sendo assim o levantamento topográfico ficou organizado conforme apresentado na Figura 07.

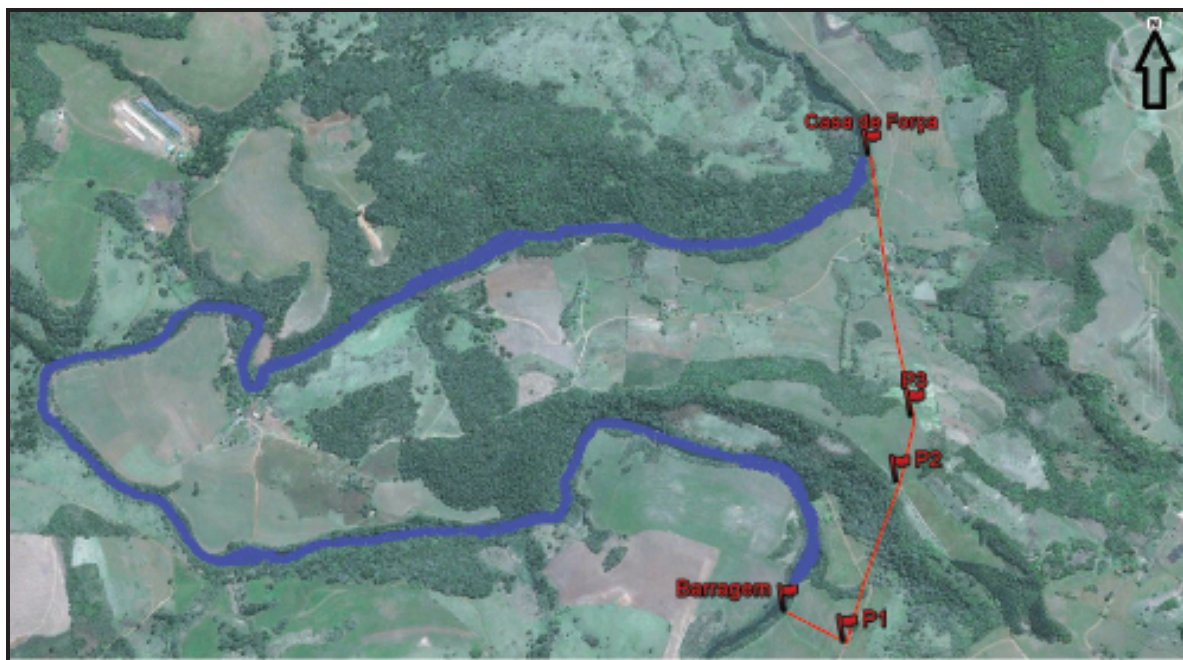


Figura 7 - Poligonal do levantamento topográfico.
Fonte: Autores

Os cálculos para obtenção do desnível foram feitos a partir da Equação 02, (VEIGA et al, 2005):

$$\Delta h_{AB} = h_i - h_s + Dh * \cot gZ \quad (02)$$

Onde:

Δh_{AB} = Desnível entre os pontos A e B sobre o terreno;

h_i = Altura do instrumento;

h_s = Altura do sinal (Prisma);

Dh = Distância horizontal;

$\cot gZ$ = cotangente do ângulo vertical.

2.7.3 Morfologia

A delimitação da bacia hidrográfica da área em estudo realizou-se com base no mapa topográfico do IBGE(1976) com escala 1:50.000. A implantação um empreendimento deste porte, exige a observação de alguns aspectos fisiográficos da bacia, tais como, área, perímetro, fator de forma, coeficiente de compacidade, índice de circularidade, densidade de drenagem, declividade do rio, cobertura

vegetal, uso e ocupação do solo e relevo. Estes dados auxiliam na interpretação dos resultados dos estudos hidrológicos e têm influência direta no comportamento hidrológico da bacia, e conseqüentemente, no regime fluvial e do curso d'água principal.

As características físicas de uma bacia constituem elementos de grande importância para avaliação de seu comportamento hidrológico. Para Villela e Mattos (1975), ao se estabelecerem relações e comparações entre dados conhecidos, podem-se determinar indiretamente os valores hidrológicos em locais nos quais faltem dados. Cardoso *et al.* (2006) dizem que a análise de alguns aspectos relacionados à drenagem, relevo e geologia pode levar a compreensão de diversas questões associadas à dinâmica ambiental local.

Conforme Tonello (2005) área de drenagem é toda área drenada pelo sistema pluvial inclusa entre seus divisores topográficos. A área é um elemento básico para o cálculo de diversos índices morfométricos. Pode ser obtida através de planimetria clássica ou de processos computacionais, em plantas de localização. É comumente expressa em km². O perímetro que é definido por Tonello (2005) como o comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas, geralmente expresso em km.

O fator de forma pode ser compreendido como a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia, podendo ser influenciada por algumas características, principalmente pela geologia. Villela e Mattos (1975) dizem que o fator de forma pode atuar também sobre alguns processos hidrológicos ou sobre o comportamento hidrológico da bacia. Villela e Mattos (1975), dizem também que uma bacia com um fator forma baixo é menos sujeito a enchentes, do que outra do mesmo tamanho, porém com fator de forma maior, e é definido pela Equação 03;

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (03)$$

Onde:

F = Fator de forma;

A = Área de drenagem;

L = Comprimento do eixo da bacia.

O Coeficiente de compacidade é definido por Cardoso *et al.* (2006) como a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual ao da bacia.

Torres *et al.* (2007) dizem que para a caracterização da forma de uma bacia são utilizados índices que buscam associá-la com formas geométricas conhecidas.

Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Se o coeficiente for igual a um, corresponde a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior, podendo ser calculado na Equação 04, Tonello (2006) apud Villela e Mattos (1975).

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (04)$$

Onde:

K_c = Coeficiente de compacidade;

P = Perímetro da bacia, em km.

A = Área de drenagem da bacia, em km².

Como dito anteriormente, o coeficiente de compacidade é uma medida de irregularidade da bacia, sendo que para uma bacia circular ideal ele é igual a 1,0. Desde que outros fatores não interfiram. Quanto mais próximos de 1,0 for este índice maior será a potencialidade de ocorrência de picos elevados de enchentes.

Assim como o coeficiente de compacidade, o índice de circularidade também tende para unidade à medida que a bacia se aproxima a forma circular e diminui a medida que a forma torna alongada. Para Cardoso *et al.* (2006) o Índice de circularidade pode ser calculado segundo a Equação 05.

$$I_c = 12,57X \frac{A}{P^2} \quad (05)$$

Onde:

I_c = Índice de circularidade;

A = Área de drenagem;

P = Perímetro.

Cardoso *et al.* (2006), diz que um Índice de circularidade de 0,51 ($I_c=0,51$) representa um nível moderado de escoamento o que não contribui para a concentração de águas que possibilitem cheias rápidas. Valores maiores que 0,51

($I_c > 0,51$) indicam que a bacia tende a ser mais circular, favorecendo os processos de inundação (cheias rápidas). Já os valores menores que 0,51 ($I_c < 0,51$) sugerem que a bacia tende a ser mais alongada favorecendo o processo de escoamento.

Densidade hidrográfica é a relação existente entre o número de rios ou cursos d'água e a área da bacia hidrográfica expressa pela Equação 06.

$$Dh = \frac{N}{A} \quad (06)$$

Onde:

Dh = Densidade hidrográfica;

N = Número de rios ou cursos d'água;

A = Área de drenagem.

Para Cardoso *et al.* (2006) a finalidade deste índice é comparar a frequência ou a quantidade de cursos d'água existentes em uma área de tamanho padrão.

A velocidade em que se dá o escoamento superficial está diretamente relacionada com a declividade, o que interfere no tempo que a água da chuva leva para concentrar-se nos leitos dos rios que constituem a rede de drenagem das bacias, sendo que os picos de enchente, infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento sobre os terrenos da bacia, é o que afirmam Villela e Mattos (1975).

Para o cálculo da declividade o manual de Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas da Eletrobrás (2000) considera a declividade média, obtida dividindo-se o desnível entre a nascente e a foz pela extensão total do curso d'água principal conforme Equação 07.

$$S = \frac{H}{L} \quad (07)$$

Onde:

S = declividade média, em m/km;

H = Diferença entre cotas do ponto mais afastado e o considerado, em m;

L = comprimento axial da bacia, ou, comprimento total do curso d'água principal, em m.

Para Villela e Mattos (1975), a variação de altitude associa-se com a precipitação, evaporação e transpiração, conseqüentemente o deflúvio médio.

Grandes variações de altitude acarretam diferenças na temperatura média, a qual, por sua vez, causa variações na evapotranspiração.

O processo que estabelece a classificação de determinado curso d'água (ou da área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra é chamada de Ordem dos cursos d'água. Segundo Cardoso et al. (2006), Robert E. Horton, em 1945, foi quem propôs de modo mais preciso, os critérios para ordenação dos cursos d'água. Sendo os canais de primeira ordem aqueles que não possuem tributários; os canais de segunda ordem só recebem tributários de primeira ordem; os de terceira ordem podem receber um ou mais tributários de segunda ordem, mas também receber de primeira ordem; os de quarta ordem recebem tributários de terceira ordem e também de ordem inferior e assim sucessivamente.

Cardoso et al (2006) cita também a metodologia proposta por Arthur N. Strahler, em 1952, sendo esta a metodologia empregada neste trabalho. Onde os menores canais sem tributários são considerados de primeira ordem; os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens; os canais de quarta ordem na qual se enquadra a bacia em estudo surgem da confluência de canais de terceira ordem, podendo receber tributários de ordens inferiores e assim sucessivamente.

Para Cardoso et al (2006), a Densidade de drenagem é a relação entre o comprimento total dos canais ou rios, sejam eles perenes intermitentes ou temporários e a sua área total.

Este índice fornece uma indicação da eficiência da drenagem, ou seja, da maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica, Cardoso et al. (2006). A densidade de drenagem é determinada utilizando a Equação 08:

$$D_d = \frac{L_T}{A} \quad (08)$$

Onde:

D_d = Densidade de drenagem;

L_t = Comprimento total dos cursos d'água da bacia, em km;

A = Área de drenagem da bacia, em km^2 .

Já de acordo com Villela e Mattos (1975), esse mesmo índice, pode variar de 0,5 km/km² em bacias com drenagem pobre, a 3,5 km/km², ou mais, em bacias bem drenadas.

O manual de Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS, 2000) diz que, se numa bacia houver um número grande de tributários, tal que a densidade de drenagem seja superior a 3,5 km/km², o deflúvio atingirá rapidamente o curso d'água principal e provavelmente haverá picos de enchentes altos e deflúvios de estiagem baixos, diz-se que essas bacias são bem drenadas. Quando este índice for da ordem de 0,5 km/km², a drenagem pode ser considerada pobre.

Alves e Castro (2003) descrevem índice de sinuosidade como a relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial entre os extremos do canal. A expressão para o cálculo do Índice de sinuosidade é descrita pelos autores como (Equação 09):

$$I_s = \frac{L}{D_v} \quad (09)$$

Onde:

Is = Índice de Sinuosidade;

L = Comprimento do canal principal;

Dv = Distância vetorial do canal principal.

Antoneli e Thomaz (2007) dizem que quando o índice de sinuosidade for próximo a 1 indicam que os canais tendem a serem retilíneos, já os valores superiores a 2, indicam que os canais tendem a ser tortuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares.

2.7.4 Impactos Ambientais

Para Almeida (2006), os principais impactos ambientais devem ser avaliados de forma simplificada, em função da área inundada e de alguns problemas a montante e a jusante do barramento. Um bom exemplo é a questão da manutenção de vazão mínima (vazão sanitária) para a jusante. Todos os impactos deverão ser orçados e inclusos na estimativa de custos do empreendimento.

2.7.5 Determinação da Vazão

Para determinar a vazão utilizada nos cálculos deste trabalho, fez-se uso dos estudos do Projeto HG52, Aproveitamentos Hidrelétricos de Pequeno Porte, da extinta Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA), extinção aprovada em 2009, pelo então governador do estado do Paraná, Roberto Requião. A nova autarquia criada para fiscalizar o uso e a qualidade da água no Paraná, vinculada à Secretaria de Meio Ambiente, foi o Instituto das Águas do Paraná, (Gazeta do Povo, 2009).

Neste Projeto HG52, encontram-se as vazões mínimas, médias e máximas em pequenas bacias, para este trabalho utilizaram-se as vazões médias. Os dados apresentam-se em isolinhas de vazões (Figura 08), encontradas pelo método $Q_{7,10}$ que se resume em um cálculo estatístico para vazão mínima de sete dias consecutivos e período de retorno de 10 anos, esse método é um importante parâmetro hidrológico com grande aplicação nos estudos de planejamento e gestão do uso dos recursos hídricos também constitui importante instrumento da Política Nacional dos Recursos Hídricos do Brasil, pois fornece estimativa estatística da disponibilidade hídrica dos escoamentos naturais de água, (SILVEIRA, 2006).

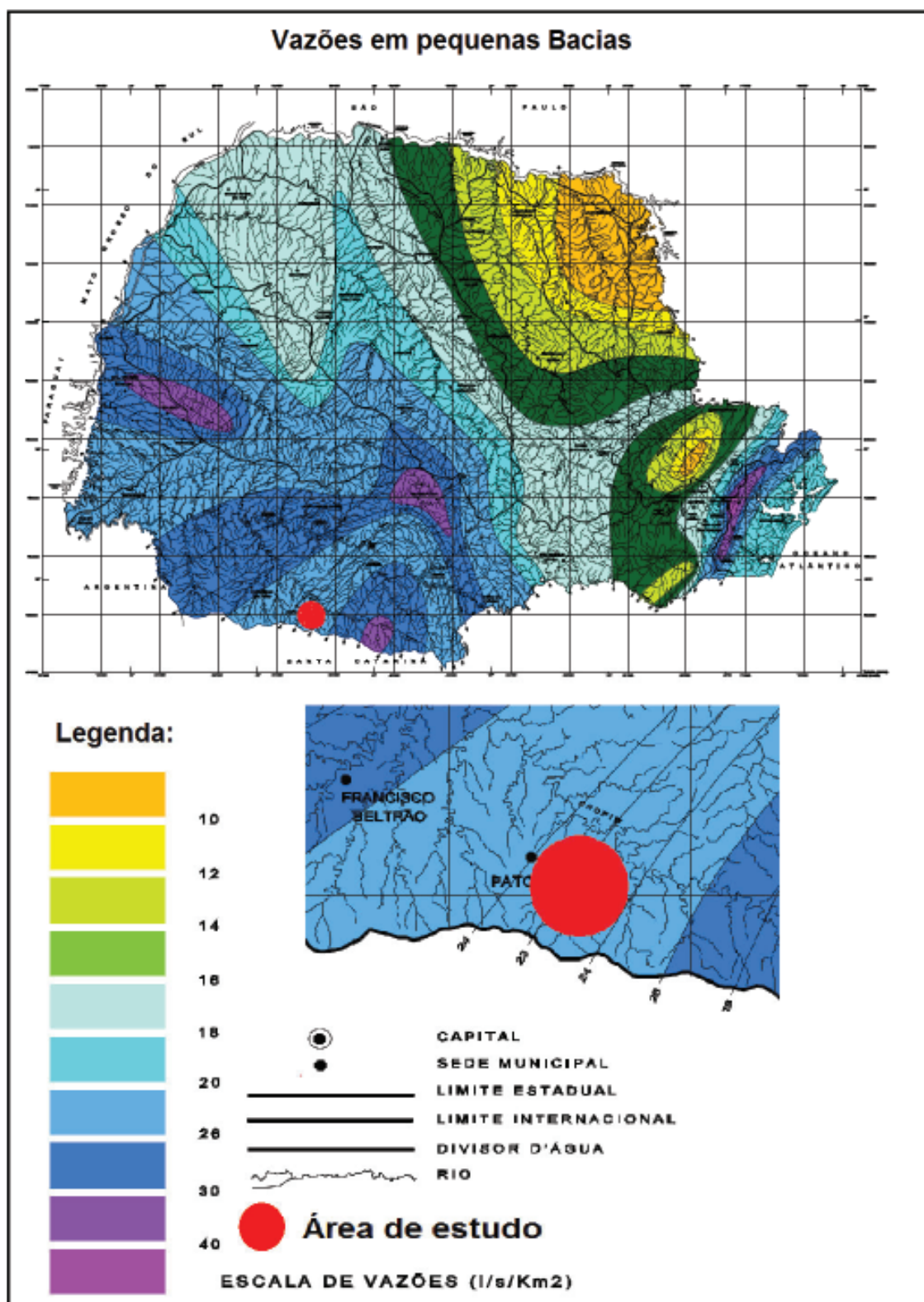


Figura 8 - Vazões médias na área da bacia em estudo.
 Fonte: Instituto das Águas do Paraná

Através do dado encontrado na figura acima, dado em $l/s/km^2$ e multiplicado pela área da área em estudo tem-se a vazão média do curso d'água.

2.7.6 Dimensionamento da Turbina

Segundo Nogueira e Filho (2007), não se pode precisar quem, onde e a quanto tempo se aproveitou pela primeira vez a força e a energia da água em movimento com rodas d'água. Sabe-se que, provavelmente, surgiram na China ou na Índia cerca de 2.000 anos atrás. Depois da Ásia, passaram ao Egito e 600 anos após a passagem pelo Egito chegou a Europa. O primeiro registro literário foi feito por Antipater de Tesalônica no ano 80 AC. Os romanos foram os responsáveis por instalarem as rodas hidráulicas como fonte de energia mecânica, onde se reconhece o arquiteto/engenheiro Vitruvius como o responsável por isso.

Nogueira e Filho (2007) também citam que as rodas hidráulicas comuns que operam principalmente com o peso da água são as de menor complexidade construtiva e, obviamente, foram as primeiras a serem construídas. Leonardo Da Vinci, Galileu e Descartes, entre outros, realizaram estudos teóricos e matemáticos sobre as rodas hidráulicas. O francês Parent que estudou o funcionamento das rodas/turbinas hidráulicas e possibilitou o surgimento das turbinas de ação e de reação.

Macintyre (1983) relata que as turbinas hidráulicas surgiram para superar as desvantagens da roda, como baixas rotações e rendimento. O estudo das turbinas se efetivou como ciência com Euler, em 1754. Posteriormente Fourneyron foi o engenheiro prático que construiu a primeira turbina experimental em 1827. Após isso, Henschel, Jonval, Fontaine, Girard idealizaram outros tipos de turbinas porem sem grandes evoluções por seus baixos rendimentos. Em 1840 surgiu a turbina Pelton, projetada pelo engenheiro americano Lester Pelton. A partir de então a demanda crescente por energia possibilitou o rápido desenvolvimento das turbinas. As turbinas Fourneyron evoluíram para as modernas turbinas Francis (1905) que tem esse nome em razão do seu inventor, James Francis. Do mesmo modo, a turbina do tipo Jonval evoluiu para a turbina Kaplan, proposta em 1913 pelo engenheiro austríaco Viktor Kaplan.

Voltando ao estudo de Parent, citado por Nogueira e Filho (2007), nas turbinas de ação, a energia hidráulica disponível é transformada em energia cinética para, depois de incidir nas pás do rotor, transformar-se em mecânica sendo que tudo ocorre à pressão atmosférica. Classificam-se como turbinas de ação: as turbinas Pelton, a turbina de Fluxo Cruzado de Michell–Banki, e a turbina Turgo. Nas turbinas

de reação o rotor é completamente submerso na água. Com o escoamento da água, ocorre uma variação de pressão e de velocidade no escoamento, entre a entrada e a saída do rotor. Uma importante característica das turbinas de reação é o uso do tubo de sucção que permite a recuperação de parte da energia cinética da água que deixa o rotor. São classificadas como turbinas de reação: a Francis, a hélice e a Kaplan, com suas variantes.

Portanto, de acordo com a norma ABNT – NBR 6445 (1987), as turbinas hidráulicas são elementos responsáveis pela transformação da energia hidráulica (potencial), em energia cinética de movimento do rotor e, conseqüentemente, em energia mecânica de rotação do eixo. Elas são fabricadas em vários modelos e especificações. Ocorre que, para cada condição hidráulica e topográfica da instalação existe uma máquina mais eficiente que as outras. A Figura 09 apresenta esta condição, onde o tipo de turbina é selecionado a partir de valores de altura de queda e vazão.

A comprovação do resultado, encontrado na relação Queda x Vazão, dado pelo gráfico da Figura 09, pode ser feita através da Equação 10 (NETTO, 1998).

$$P = \rho * g * H * Q * n \quad (10)$$

Onde:

P= Potencia de Geração da Turbina a Instalada;

ρ = Densidade Relativa da Água;

g = Aceleração da gravidade;

H= Altura Bruta de Queda;

Q= Vazão;

n= Rendimento da turbina.

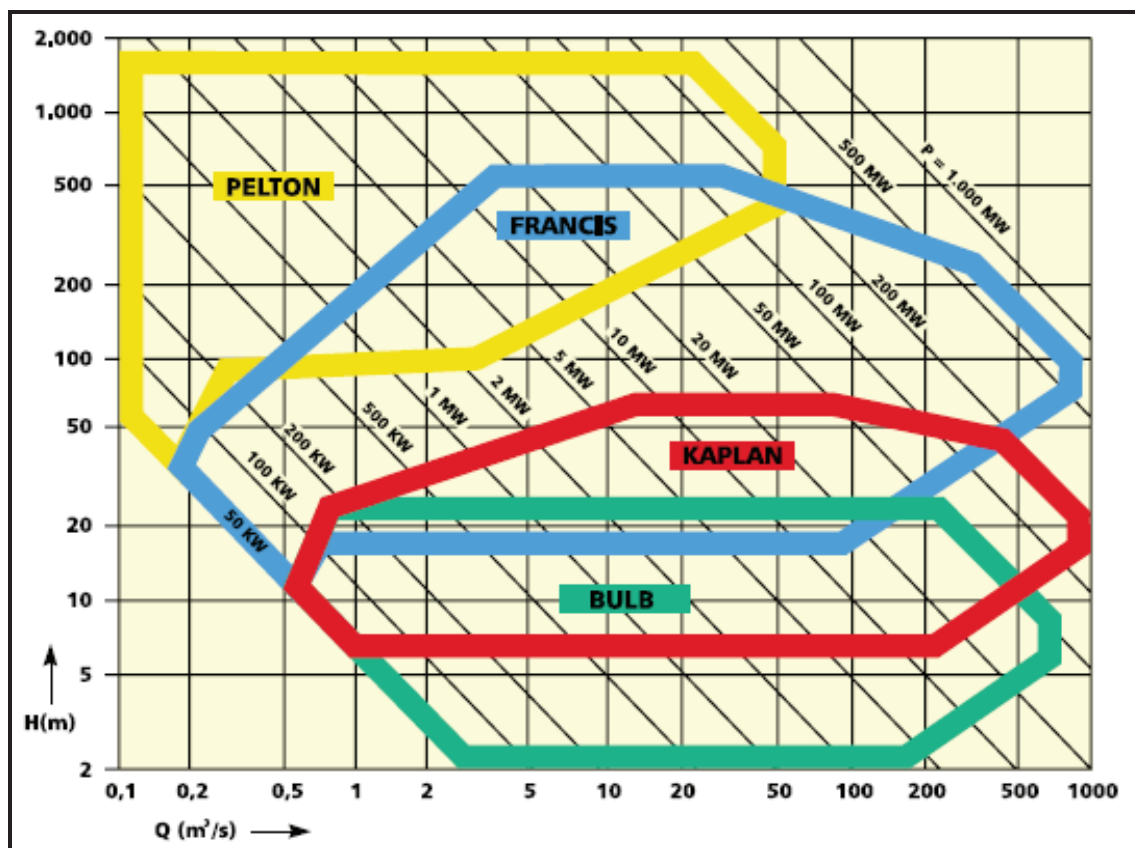


Figura 9 - Gráfico H(m) X Q(m³/s) para escolha da turbina em função das condições hidráulicas e topográficas.

Fonte: Catálogo VA TECH Hydro Brasil Ltda

3. RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES

3.1.1 Resultados do Levantamento Topográfico

Antes de apresentar os cálculos, as imagens apresentadas na Figura 10, dos pontos da poligonal realizada no trabalho de campo, onde se podem observar as condições topográficas e onde será idealizada a instalação da barragem e a casa de força.

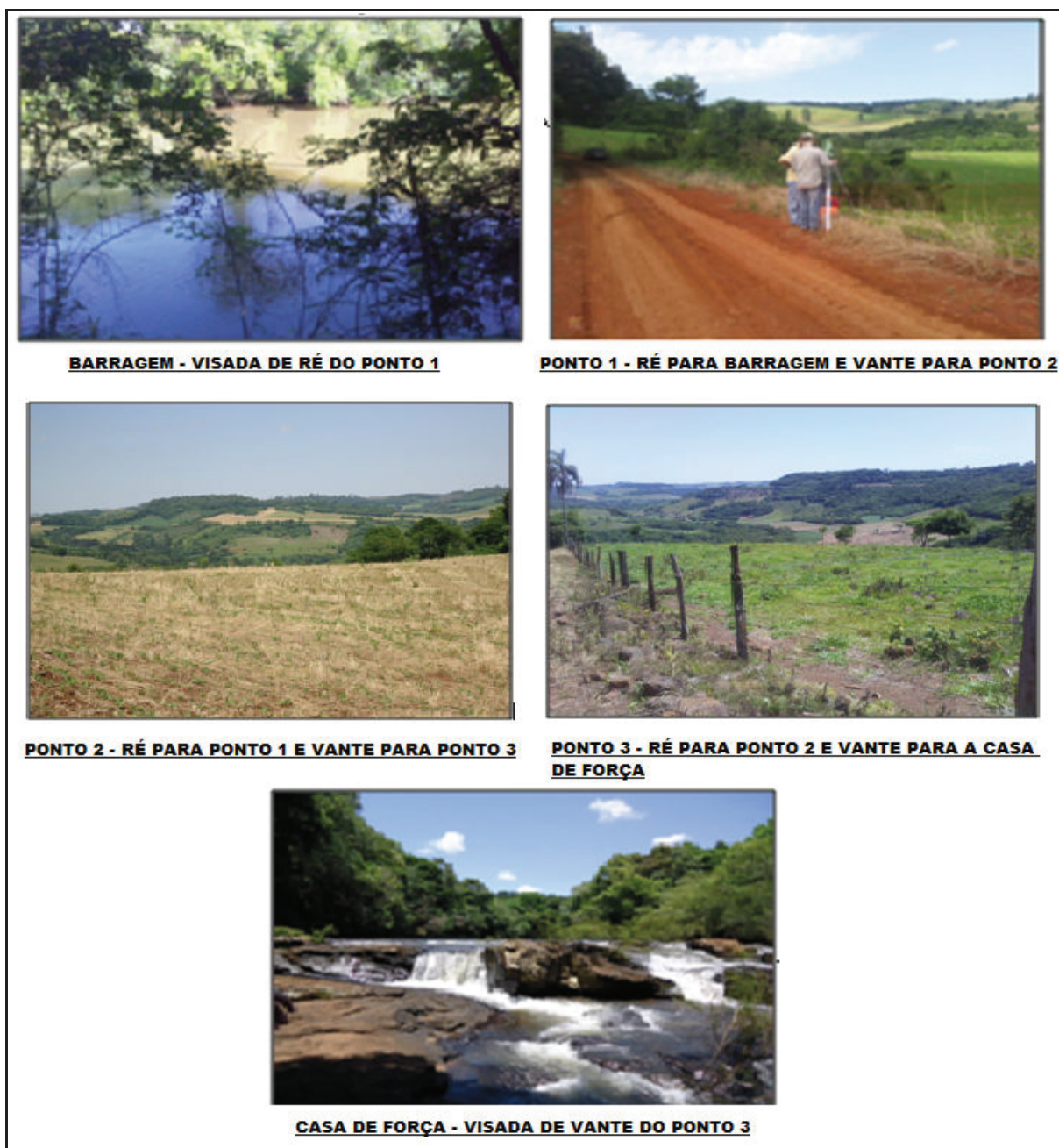


Figura 10 - Imagens levantamento topográfico.
Fonte: Autores.

Executado o levantamento topográfico de campo foram feitos os cálculos utilizando a Equação 02 a partir dos seguintes dados coletados:

Ponto Ocupado: P1

Local: Beira da Estrada

Altura do Instrumento (hi) 1,460 m

Altura do Prisma (hp) 2,000 m

Visada	H (°)			V (°)			Dh (m)	Obs.
BARRAGEM	0	0	3	97	7	4	177,789	Ré
P2	61	16	0	84	49	45	592,91	Vante

Ponto Ocupado: P2

Local: Morro (Plantação - Beira da Estrada)

Altura do Instrumento (hi) 1,545 m

Altura do Prisma (hp) 2,000 m

Visada	H (°)			V (°)			Dh (m)	Obs.
P1	0	0	0	95	4	59	592,926	Ré
P3	252	46	17	87	23	15	176,373	Vante

Ponto Ocupado: P3

Local: Plantação(Cerca)

Altura do Instrumento (hi) 1,575 m

Altura do Prisma (hp) 2,000 m

Visada	H (°)			V (°)			Dh	Obs.
P2	0	0	1	92	20	33	176,383	Ré
CASA DE FORÇA	98	50	48	97	55	6	777,929	Vante

Efetuados os cálculos com os dados acima, obteve-se um desnível total de 25,19 m entre o ponto onde será o barramento até o ponto onde será a casa de força.

3.1.2 Resultados da Morfologia da Bacia

Feita a delimitação da área, confeccionou-se o mosaico que pode ser visualizado na Figura 11. Nele se verifica a extensão bacia, e todos os cursos d'água que formam a área de drenagem, totalizando 291,5 Km² de área e um perímetro de 77,58 km.

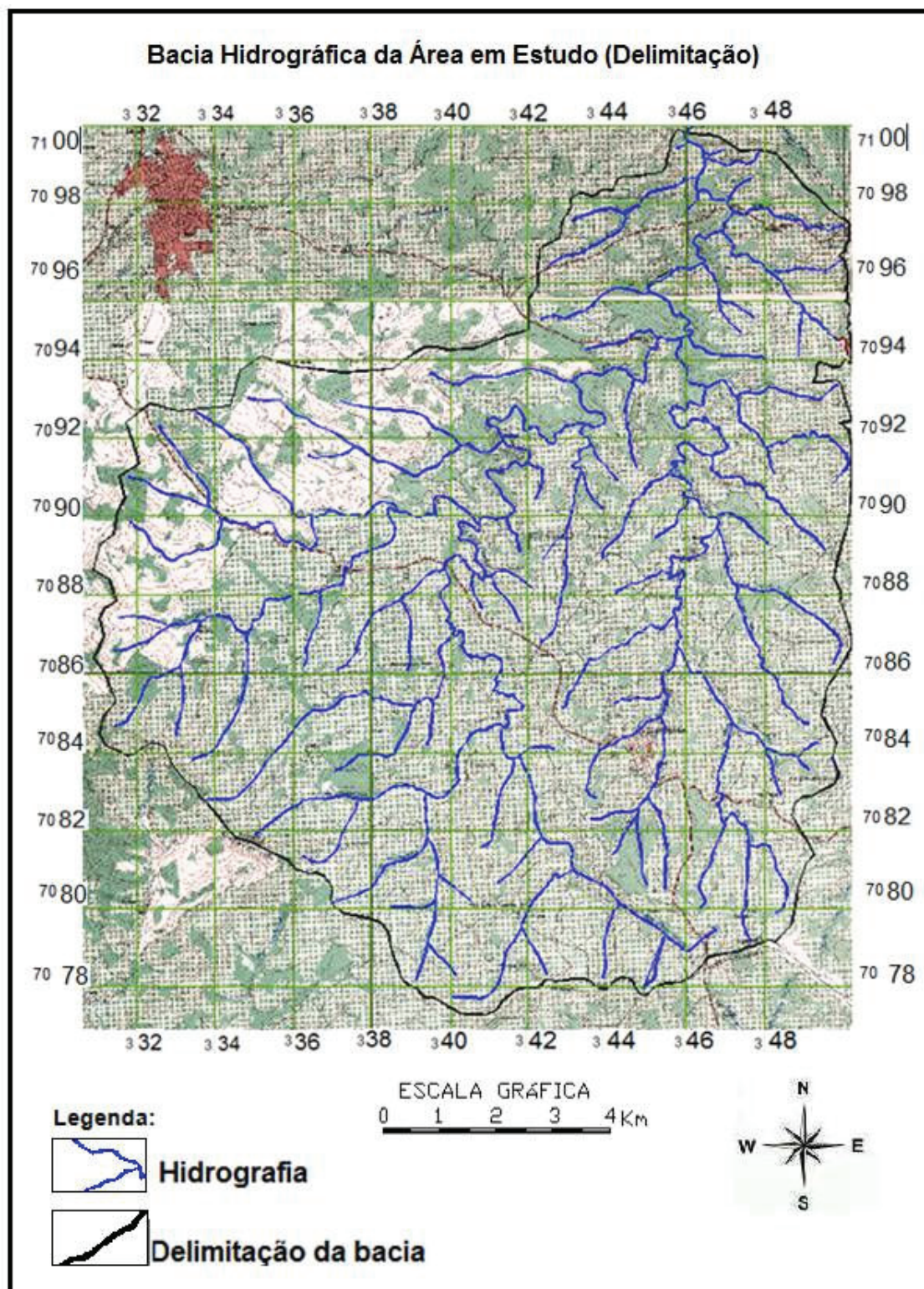


Figura 11 - Delimitação da bacia hidrográfica em estudo.
 Fonte: modificado de Cartas Topográficas MI 2862/2 e 2862/4 IBGE, 1982.

Terminado o mosaico, fez-se o cálculo para determinar a morfometria da bacia hidrográfica em estudo. A área e o perímetro foram retirados com o auxílio de programa computacional Auto CAD versão 2010. Os demais dados morfométricos

foram calculados segundo as Equações 03 a 09 e podem ser encontrados resumidamente na Tabela 01.

Tabela 01: Características morfométricas da bacia Hidrográfica do Rio Pato Branco, Pato Branco PR.

Características morfométricas	Valores
Área	291,5 Km ²
Perímetro	77,58 Km
Fator de forma	0,551
Coefficiente de Compacidade	1,27
índice de circularidade	0,6
Densidade Hidrográfica	0,28 Canais / Km
Variação de altitude	320 m
Declividade média	7,2 m/Km
Ordem da bacia	4
Densidade de Drenagem	0,86 Km/km ² ,
Índice de sinuosidade	1,95
Comprimento do canal principal	44,4 Km
Comprimento de todos os canais	250,77 Km
Comprimento do eixo da bacia	23 Km
Número de cursos d'água	83

Fonte: Autores (2012)

O fator de forma da bacia em estudo é de 0,551, o que de acordo com Villela e Mattos (1975), pode ser considerado um fator de forma baixo, ou seja, a bacia é menos sujeita a enchentes ou processos de inundação (cheias rápidas), com o formato alongado.

Calculado o coeficiente de compacidade, encontramos um valor de 1,27 o que segundo Torres *et. al* (2007), indica que a bacia não possui uma forma geométrica perfeita como um círculo, e também não é tão susceptível a enchentes, principalmente as causadas por chuvas torrenciais.

O índice de circularidade valor obtido nesse trabalho foi de 0,60, o que nos mostra que a área da bacia em questão distancia-se da área de um círculo, e, apresenta um alto nível de escoamento e moderado propensão à ocorrência de cheias.

Estes três índices descritos acima comprovam que a bacia hidrográfica em estudo, não apresenta forma circular, e sim alongada, que dificulta a formação de enchentes, quando esta se mantém no estado natural (com vegetação). Caso ocorram modificações, como a urbanização local, sem o planejamento correto, as enchentes poderão acontecer, devido à impermeabilização do solo.

A densidade hidrográfica da bacia do rio Pato Branco é de 0,28 Canais / Km, o que de acordo com Cardoso *et al.* (2006) e também Villela e Mattos (1975), representa uma densidade baixa.

A variação de altitude encontrada na área de estudo da bacia do rio Pato Branco é de 320 metros, conforme o perfil do rio (Figura 12), o que representa uma declividade média de 7,2 m/km.

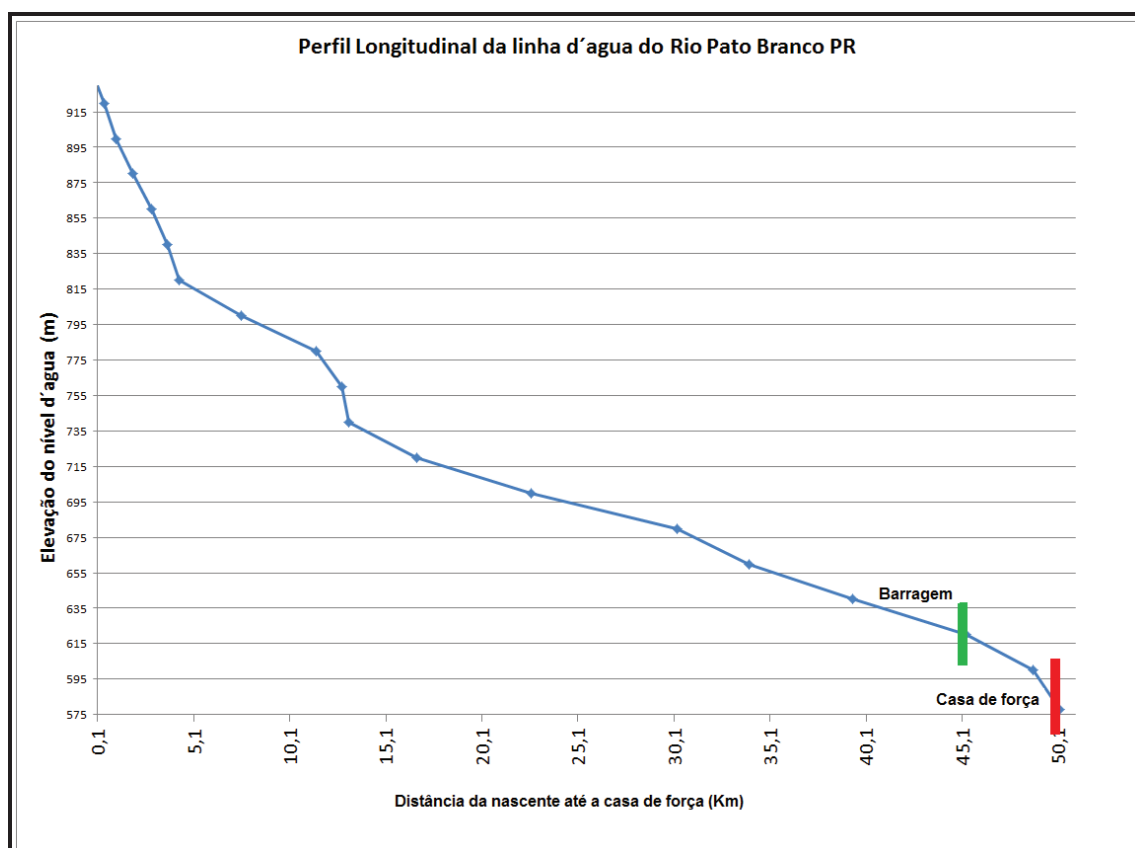


Figura 12 - Perfil do rio da Nascente até a casa de força.
Fonte: Autores (2012)

No processo que estabelece a classificação de cursos d'água se utilizou a metodologia proposta por Arthur N. Strahler, em 1952 e é classificado como bacia de quarta ordem, conforme Figura 13. Nesta figura também se observa a localização da captação da SANEPAR, da possível barragem e da casa força. A densidade de drenagem da bacia em estudo é de 1,01 Km/km², o que de acordo com os índices citados, podem ser classificadas como pouco drenadas.

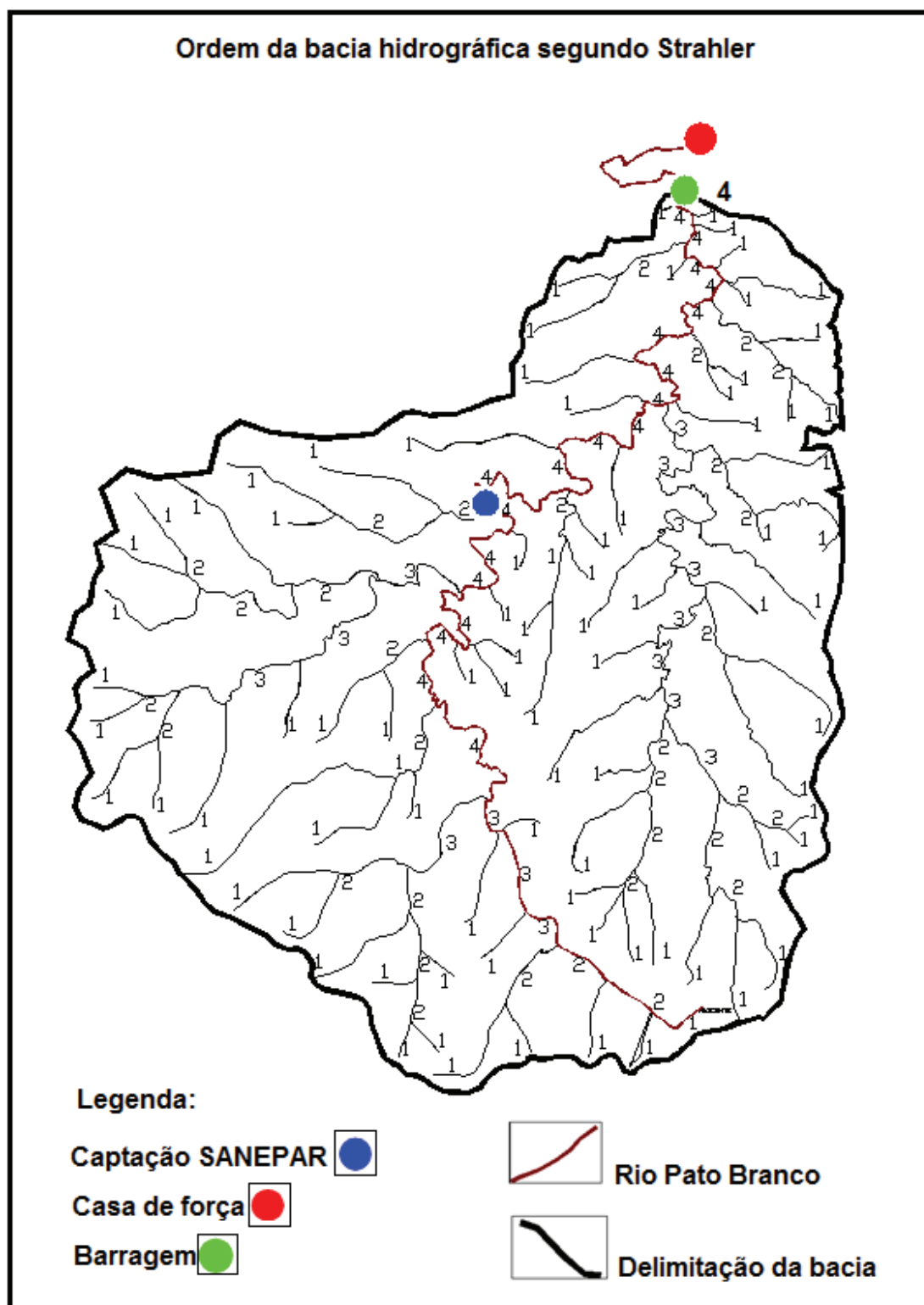


Figura 13 - Ordem da bacia segundo Strahler.
 Fonte: Cartas Topográficas MI 2862/2 e 2862/4 do ITCG 1982

O Rio Pato Branco possui índice de sinuosidade de 1,95, o que conforme a classificação de Antoneli e Thomaz (2007) indica que o canal tende a ser meândrico.

3.1.3 Resultados do Levantamento de Vazão

Através da Figura 07, citada acima, mapa de Vazões do estado do Paraná, desenvolvido pela SUDERHSA, com estudos de monitoramento das vazões dos principais rios, obteve-se da $Q_{7,10}$, que representa a vazão mínima de 7 dias consecutivos durante 10 anos de estudo. A bacia hidrográfica do rio Pato Branco localiza-se entre as isolinhas 24 e 26 l/s/km². Utilizou-se para cálculo da vazão para a PCH o valor 26 l/s/km², multiplicado pela área total da bacia em estudo, 291,5km², resulta em uma vazão de 7579 l/s, ou seja, aproximadamente 7,6 m³/s.

3.1.4 Resultados da Escolha da Turbina

Para obter a potência da turbina a ser instalada foram lançados os dados na Equação 10 (NETTO, 1998).

$$P = \rho * g * H * Q * n \quad (10)$$

Onde:

$P = W$;

$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$;

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$;

$H = 25,19 + 5$ (altura da barragem) = 30,19 m;

$Q = 7,6 \text{ m}^3/\text{s}$;

$n = 75\%$.

O resultado apresenta-se em W (Wats) e para transformar em MW (Mega Wats), basta dividir por 10⁶. Com os cálculos obteve-se uma potência de 1,68 MW.

Conforme a Figura 15, fazendo intersecção entre os pontos de altura (30,19m) e vazão (7,6 m³/s), a turbina indicada para este empreendimento é do tipo Francis com potência entre 1,6 a 1,8 MW.

Observando a Figura 14, pode-se optar pela turbina Kaplan também, porém este modelo o mecanismo de controle das pás no rotor, pode encarecer sua fabricação e tornar a sua aplicação inviável quando comparado às outras turbinas na mesma faixa de aplicação.

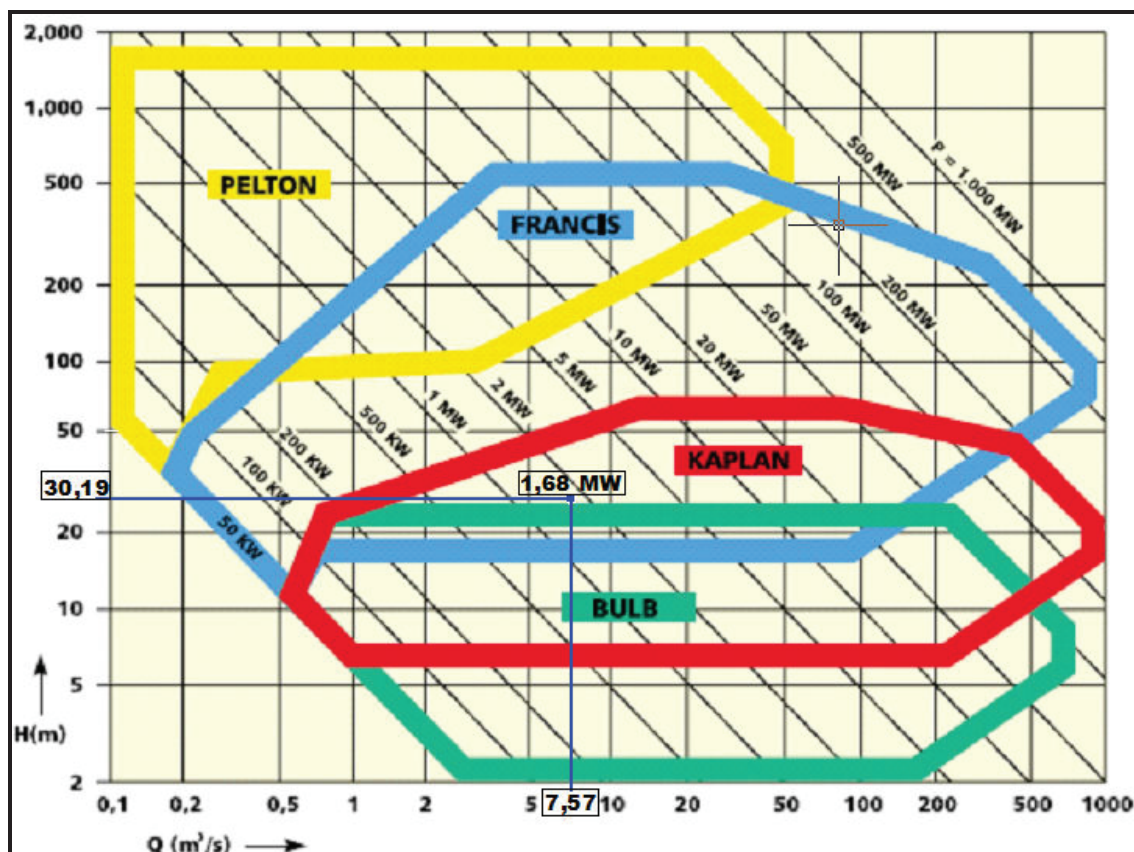


Figura 14 - Potência da Turbina.
Fonte: Adaptado do Catálogo VA TECH Hydro Brasil Ltda.

3.1.5 Resultados dos Impactos Ambientais

Com relação aos impactos ambientais, o CERPCH (2011) cita que a área de alagamento não pode ultrapassar 3 km², essa condição é satisfeita (Figura 16) onde a área total do reservatório, após a construção da barragem que eleve em 5 metros o perfil d'água será de 0,16 km².

A elevação de 5 metros foi projetada para que não houvesse uma grande área alagada, diminuindo os impactos ambientais e os gastos com indenizações a população ribeirinha. Adicionando estes 5 metros aos 25,19 metros de desnível entre a barragem e a casa de força, haverá uma queda bruta total de 30,19 metros.

Observar-se também na Figura 15 que maior parte da área alagada será de terras agricultáveis e em menor proporção de mata ciliar. Tem-se ainda que a área alagada não atinge imóvel de qualquer natureza, o que reduz os gastos com indenizações a população ribeirinha.

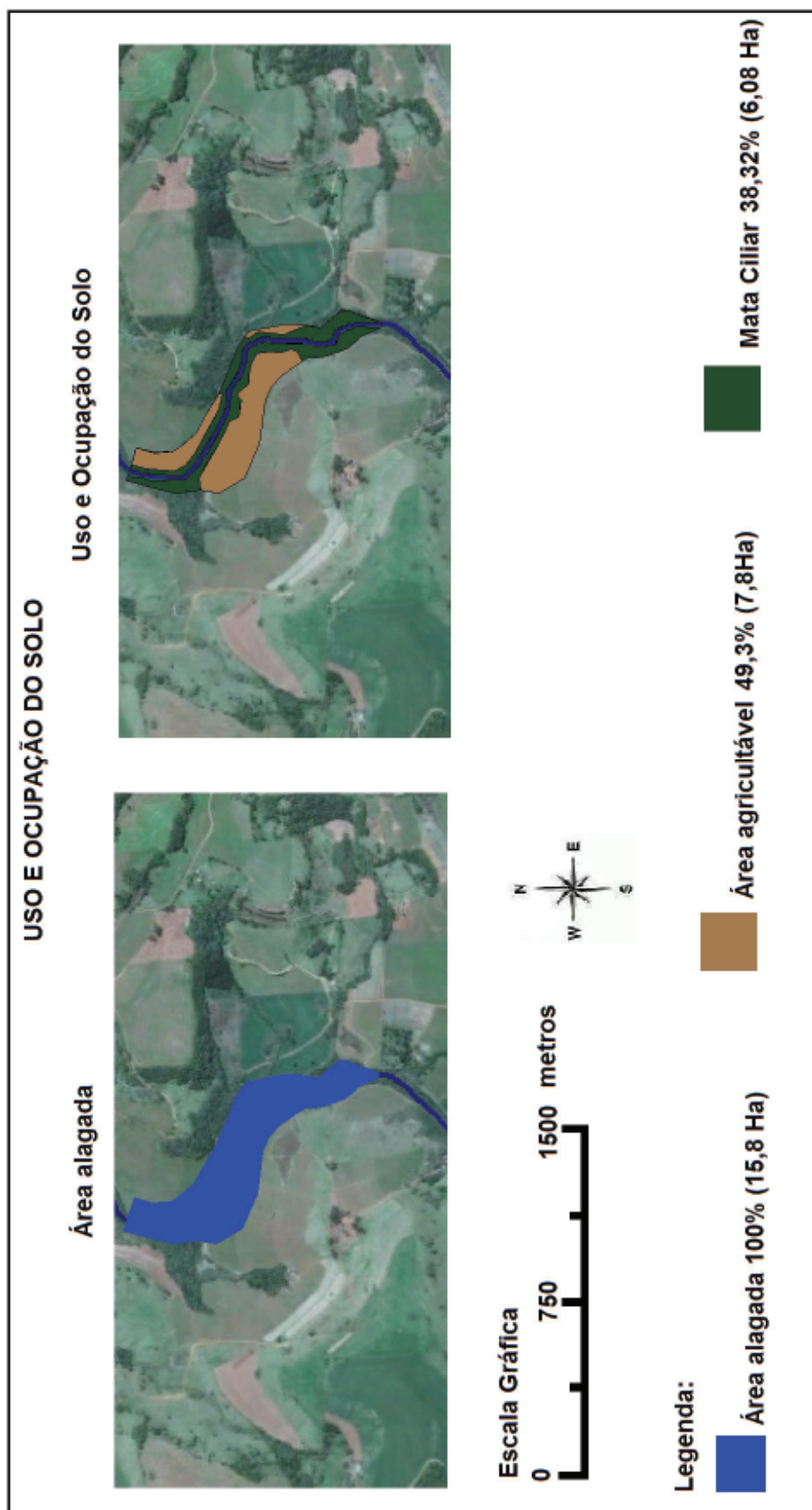


Figura 15 - Área alagada pelo reservatório / uso e ocupação do solo
 Fonte: Autores (2012).

Com a elaboração da Figura 15, pode-se obter a quantidade de área alagada com a formação do reservatório, sendo que este será de 5 metros de altura, também o tipo de ocupação desse solo. No total, a área alagada será de 15,8 ha (hectares), 7,8 ha dessa área atualmente é ocupada por agricultura, 6,08ha de vegetação ciliar e o restante, 1,92ha já é ocupado pelo curso natural do rio.

3.1.6 Resultados do Circuito Hidráulico de Geração

O circuito hidráulico de geração, que se situa na margem direita do rio, é constituído pelos seguintes componentes:

- Barragem;
- Tomada d'Água;
- Túnel de adução;
- Chaminé de Equilíbrio;
- Conduitos Forçados;
- Casa de força;
- Canal de Fuga.

Como não é o foco do trabalho detalhar os componentes do circuito, detalhou-se, por curiosidade, a locação de como pode ficar o túnel adutor do empreendimento e a barragem (Figura 16).

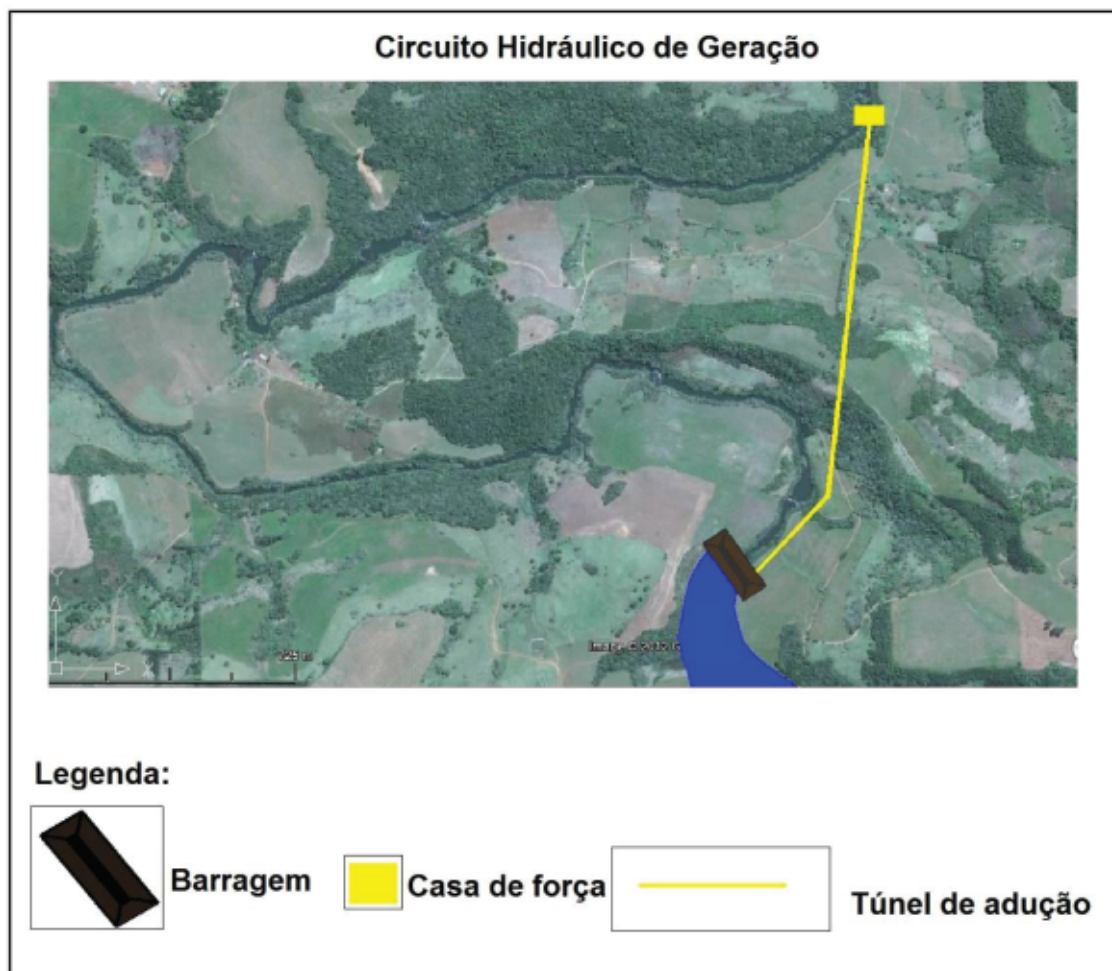


Figura 16 - Circuito Hidráulico de Geração.
Fonte: Autores,2012.

A barragem terá como finalidade formar uma represa, de forma a possibilitar a captação de água pelo túnel para a casa de força, além de contribuir para a elevação de carga disponível no sistema. A barragem em questão elevará em 5 m a coluna líquida e terá uma extensão de 70m.

O túnel adutor terá um comprimento total de 1371 metros. Somando-se o desnível geométrico de 25,19 com o aumento de 5 metros da lâmina d'água efetivado pelo barramento, tem-se uma declividade total de 30,19 metros, ou seja, 21,99 m/km ou ainda 2,2 %.

4.0 CONCLUSÃO

Com a finalização deste trabalho, podemos ver que existe a possibilidade de implantação de uma Pequena Central hidrelétrica na bacia do rio Pato Branco, sem causar impactos ambientais e sem comprometer a captação de água da SANEPAR para abastecimento da cidade de Pato Branco PR.

No estudo de campo, além do levantamento topográfico que nos deu a exata noção da queda bruta entre a barragem e a casa de força, percebeu-se também que a região é de fácil acesso, o que facilita a logística para fornecimento de materiais de construção. A Inexistência de Unidades de Conservação Federal e Terras Indígenas, e também existência de afloramentos rochosos (basalto) em forma de corredeiras e saltos que propiciam fundações rasas.

A bacia tem uma área de drenagem total de 291,5 Km². Apresenta um alto nível de escoamento e moderado propensão à ocorrência de cheias. Determinada a área e com o mapa de Vazões do estado do Paraná, desenvolvido pela SUDERHSA obtivemos vazão de aproximadamente 7,6 m³/s e uma potencia instalada de 1,68 MW.

A Pequena área alagada (15,8 Há) pelo reservatório diminui o custo com aquisição de terras, desmatamento na época da construção e implantação da Área de Proteção Permanente – APP.

Também existem aspectos desfavoráveis, como a ausência de quedas concentradas acima de 20 m, que possibilite a implantação de circuito de adução (canal, túnel ou conduto de baixa pressão) curto e também a ausência de linhas de transmissão para interligar ao sistema nacional.

5.0 REFERÊNCIAS

ABRAGEL. **Associação Brasileira de Geração de Energia Limpa**. Disponível em: <<http://www.apmpe.com.br/zpublisher/secoes/home.asp>>. Acesso em: 15 ago. 2011.

ALMEIDA José Heli de, **Caracterização e Avaliação de Imprevistos Geológicos em Obras de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's)**. Dissertação Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto Ouro Preto. 2006. Ouro Preto/MG.

ALVES, Julia Maria de Paula; CASTRO, Paulo Tarso Amorim. **Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análises de padrões de lineamentos**. Rev. Brasileira de Geociências. Universidade Federal do Paraná UFPR. Curitiba PR 2003.

AMARAL, Cristiano Abijaode; PEDREIRA, Adriana Coli; BLEIL, Júlia Rechia. **Direito Ambiental no Brasil: Análise do Licenciamento Ambiental de Usinas Eólicas em Áreas de Preservação Permanente**. Artigo. <http://www.cerpch.unifei.edu.br/arquivos/artigos/pch-shp-49-pag25a32.pdf>. Revista PCH Notícias & SHP NEWS. 2011. Itajubá/MG.

ANEEL. **Agencia Nacional de energia elétrica**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 28 set. 2011.

ANTONELI, Vademir; THOMAZ, Edivaldo Lopes. **Caracterização do meio físico da Bacia do Arroio Boa Vista- Guamiranga –PR**. Caminhos da Geografia. 2007. Uberlândia/MG.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6445: Turbinas hidráulicas, turbinas-bombas e bombas de acumulação: referências: elaboração**. Rio de Janeiro, 1987.

BARBIERI, Alex. **Projeto de uma Micro Central Hidrelétrica para uma Propriedade Rural**. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário Luterano de Palmas, CEULP/ULBRA. 2005. Palmas/TO

CARDOSO, Cristiany Araújo. DIAS, Herly Carlos Teixeira. SOARES, Carlos Pedro Boechat. MARTINS, Sebastião Venâncio. **Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Dedossan**. Revista Árvore. 2006. Nova Friburgo/RJ.

CASTRO, Cláudio de Moura. **A prática da pesquisa**. Mc-Graw-Hill. São Paulo, 1977.

CERPCH. **Centro de Referência de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Disponível em: <<http://www.cerpch.unifei.edu.br/>>. Acesso em 20 ago. 2011.

CREA/PR. **Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Paraná.** Disponível em <http://www.crea-pr.org.br/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=40:revista-crea-pr>. Acesso em 23 ago. 2011.

DIRETRIZES. **Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas.** Disponível em: <http://www.portalpch.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2866&Itemid=217>. Acesso em: 27 ago. 2011.

ELETROBRÁS. **Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas.** Disponível em: <http://www.elektrobras.gov.br/EM_Atuaacao_Manuais/default.asp>. Acesso em: 20 ago. 2011.

FILHO, Geraldo Lúcio Tiago. **Comitê Brasileiro de Barragens.** Artigo. V Simpósio de Pequenas e médias centrais hidrelétricas. 2006. Florianópolis/SC.

GAZETA DO POVO. Vida Pública, Ed. 03 de junho de 2009. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/vidapublica/conteudo.phtml?tl=1&id=892908&tit=Suderhsa-e-extinta-e-substituida-por-instituto>>. Acesso em: 14 fev. 2012.

GOLDENFUM, Joel Avruch. **HIDROLOGIA II Aula 9.** 2010. IPH/UFRGS.

GOOGLE. Disponível em: <<http://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/index.html>> Acesso em: 12 jan. 2012.

GRANZIERA, Maria Luiza Machado. **Direito de água.** Atlas. 2006. São Paulo/SP

JUNIOR, Jolival Antonio da Silva; LOPES, Luiz Antonio Silveira. **Utilizacao de dados topográficos em projetos geométricos automatizados de via.** Disponível em: <http://www.cartografia.org.br/xxi_cbc/014-G03.pdf> Acesso em: 14 fev.2012.

LAGO, Rosângela; NÓBREGA, André Pepitone da. **O processo de Outorga de Autorização Registro de PCH's.** Artigo. Revista PCH Notícias & SHP NEWS - Número 11. Universidade Federal de Itajubá. 2001. Itajubá/MG.

LEICA, **Manual do Usuário – Estação Total TC307.** Disponível em: <<http://www.manfra.com.br/produtos.php?tipo=usados&produto=68>> Acesso em: 23 maio 2012.

MACHADO, Fernando Weigert; PEDROSO, Andréia. **Créditos De Carbono: Fonte De Incentivo Financeiro Para A Construção De PCH's.** Artigo VII Conferência de Centrais Hidrelétricas. 2011. São Paulo/SP.

MACINTYRE, A.J. **Maquinas Motrizes Hidráulicas.** 2 ed. 1983. Guanabara/RJ

MELLO, Arthur Octávio Pinto Barreto de. **Os Investimentos No Setor Elétrico.** Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. 2008. Rio de Janeiro/RJ.

MENDES, Marcela. **Muita energia e oportunidade de trabalho**. Revista Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Paraná (CREA-PR). Ed. 66, Dez 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Manual de inventário hidrelétrico de bacias hidrográficas**. E-papers. 2007. Rio de Janeiro/RJ.

MOURA, Gustavo Nikolaus Pinto. SANTI, Auxiliadora Maria Moura. **Energia Renovável: Diagnóstico Da Geração De Eletricidade Em Pequenas Centrais Hidrelétricas No Estado De Minas Gerais**. Artigo. XXVIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção. 2008. Rio de Janeiro/RJ.

NETTO, Azevedo. **Manual de Hidráulica**. Edgard Blucher. 8 ed. 1998. São Paulo/SP.

NILTON, Cássio Luiz. **O Impacto das Pequenas Centrais Hidrelétricas PCH's no Meio Ambiente**. Trabalho de Conclusão de curso. Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. 2009. Lavras Minas/MG.

NOGUEIRA, Fabio Jose Horta. FILHO, Geraldo Lucio Tiago. **Microcentrais Hidrelétricas. Série Energias Renováveis**. 1 ed. CERPCH. 2007. Itajubá/MG.

PCH. **PCH Típica Normalmente Opera a Fio d'água**. Disponível em: <http://www.portalpch.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=702>. Acesso em: 30 ago. 2011.

PCH. **Resolução N° 394 de dezembro de 1998**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res1998394.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2011.

PCH's. **Muita Energia e Oportunidade no Paraná**. Disponível em: <<http://rotaenergia.wordpress.com/2011/01/12/pchs-muita-energia-e-oportunidade-no-parana/>>. Acesso em: 20 set. 2011.

PEREIRA, Elizângela dos Santos. NASCIMENTO Eduardo Turiel do. BLANCO Claudio José Cavalcante. **Licenciamento Ambiental de PCH's no Brasil com Ênfase nos Conflitos e Deslocamentos de Competência**. Artigo. CERPCH VII Conferência de Centrais Hidrelétricas. 2011. São Paulo/SP.

SANEPAR. **Companhia de Saneamento do Paraná**. Disponível em: <<http://site.sanepar.com>> Acesso em 28 ago. 2011.

SILVEIRA, Alexandre. **Determinação da Q7,10 para o Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil e comparação com a vazão regularizada após a implantação do reservatório de aproveitamento múltiplo de manso**. XXX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 2006. Punta del Este – Uruguai.

TONELLO, Kelly Cristina. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. Tese Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. 2005. Viçosa/MG

TORRES, José Luiz Rodrigues. SILVA, Tobias Rodrigues da. OLIVEIRA, Francienne LGóis. ARAÚJO, Gustavo Silva. FABIAN, Adelar José. **Diagnóstico Socioeconômico, Ambiental e Avaliação das Características Morfométricas da Microbacia do Córrego Alegria em Uberaba – MG**. Artigo. Sociedade & Natureza. CEFET-Uberaba/MG 2007. Uberaba/MG.

VEIGA, Luis Augusto Koenig. ZANETTI, Maria Aparecida. FAGGION, Pedro Luis. **Fundamentos de Topografia**. UFPR – Setor de Ciências da Terra. 2005. Curitiba/PR.

VILLELA, Swami Marcondes. MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. McGraw-Hill do Brasil. 1975. São Paulo/SP