

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO EXPEDITA DO CUSTO DE
IMPLANTAÇÃO DE MICRO CENTRAIS
HIDRELÉTRICAS**

CARLOS ROBERTO BALARIM
Engenheiro Civil

Orientador: Prof. Dr. LUIZ ANTONIO TARGA
Coorientador: Prof. Dr. RUY FERNANDO SANT'ANA

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas do Campus de
Botucatu - UNESP, para a obtenção do
título de Mestre em Agronomia - Área de
Concentração: Energia na Agricultura

BOTUCATU - SP
Dezembro - 1996

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "AVALIAÇÃO EXPEDITA DO CUSTO DE IMPLANTAÇÃO
DE MICRO CENTRAIS HIDRELÉTRICAS".

AUTOR: CARLOS ROBERTO BALARIM

ORIENTADOR: PROF. DR. LUIZ ANTONIO TARGA

COORIENTADOR: PROF. DR. RUY FERNANDO SANT'ANA

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Luiz Antonio Targa (Presidente)

Prof. Dr. Alceu Gomes de Andrade Filho

Prof. Dr. Antonio de Pádua Sousa

Data de realização: 06 / Dezembro / 1996.

Homologado pela Congregação: _____ / _____ /

A meus pais,

*Pedro e Maria de Lourdes, pelo
esforço e sacrifício.*

*Aos meus filhos, Fernanda e Rafael,
a Andréia e a todos aqueles que
torceram pela realização e conclusão
deste trabalho.*

DEDICO

Aos Professores *Dr. Luiz Antonio Targa* e *Dr. Ruy Fernando Sant'Ana*, cujas dedicações e responsáveis orientações - sempre pautadas pela amizade, incentivo e apoio - se fizeram presentes em todas as fases deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por mais uma etapa cumprida.

Em especial ao Prof. Eng. Joel Larocca Júnior, pela amizade, incentivo e irrestrita colaboração durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Em especial ao Prof. José Raimundo Passos, pelo processamento dos dados.

À UEPG (Universidade Estadual de Ponta Grossa), em particular ao Reitor Prof. Eng. Roberto Frederico Merhy, pela inestimável ajuda.

Aos funcionários do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Área de Concentração: Energia na Agricultura - pela amizade e pronta colaboração.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação em Agronomia, convivência que se transformou numa grande amizade, pelo estímulo.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração e a realização desta pesquisa.

S U M Á R I O

	Página
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE QUADROS.....	XI
1. RESUMO	1
2. INTRODUÇÃO.....	2
2.1. Generalidades.....	2
2.2. Planejamento e projeto de usinas hidrelétricas.....	5
2.3. O estado da arte.....	7
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	10
3.1. Considerações sobre usinas hidrelétricas de pequeno porte.....	10
3.2. Especificação e dimensionamento de estruturas e equipamentos de usinas hidrelétricas de pequeno porte	15
3.2.1. Infra-estrutura necessária à obra	17
3.2.2. Desvio do rio	17
3.2.3. Barragens	19
3.2.3.1. Barragem de concreto à gravidade.....	19
3.2.3.2. Barragem de contrafortes	21
3.2.3.3. Barragem de terra	22
3.2.3.4. Barragem de enrocamento.....	24
3.2.4. Vertedouros	25
3.2.4.1. Vertedouro de borda livre	26
3.2.4.2. Vertedouro de canal	27
3.2.4.3. Vertedouro com comportas.....	28

3.2.5. Tomada de água e sistema de adução	29
3.2.5.1. Tomada de água	29
3.2.5.2. Canal de adução	29
3.2.5.3. Tubulação de baixa pressão.....	30
3.2.5.4. Câmara de carga e tubulação forçada.....	31
3.2.5.4.1. Câmara de carga	31
3.2.5.4.2. Tubulação forçada.....	32
3.2.6. Casa de máquinas	33
3.2.7. Equipamentos eletro-hidromecânicos	34
3.2.7.1. Equipamentos eletromecânicos	34
3.2.7.2. Sistema de transmissão	35
3.3. Estimativa de custos para implantação de usinas hidrelétricas de pequeno porte	36
3.3.1. Barragem e vertedouro.....	36
3.3.2. Tomada de água	39
3.3.3. Sistema de adução.....	41
3.3.4. Câmara de carga	44
3.3.5. Tubulação de alta pressão.....	45
3.3.6. Casa de máquinas	49
3.3.7. Equipamentos hidromecânicos e elétricos	52
3.3.8. Canal de fuga	55
3.3.9. Subestações e linhas de transmissão	56
3.3.10. Custos adicionais	57
3.3.11. Custo total	58
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	60
4.1. Materiais	60
4.1.1. Justificativa	60
4.1.2. Descrição	64
4.1.2.1. Local.....	64

4.1.2.2. Arranjo geral.....	65
4.2. Métodos	72
4.2.1. Pré-dimensionamento	72
4.2.2. Custos unitários	97
4.2.3. Modelos de regressão	99
4.2.3.1. Caracterização dos modelos	99
4.2.3.2. Ajuste dos modelos de regressão	100
5. RESULTADOS	101
6. DISCUSSÃO	119
6.1. Considerações sobre topografia, hidrologia e localização	119
6.2. Considerações sobre os resultados	122
6.3. Considerações sobre os modelos	127
6.4. Considerações sobre outros trabalhos	129
6.4.1. Custos segundo ELETROBRÁS & DNAEE (1985)	129
6.4.2. Custos segundo DNAEE & COPEL (1988)	130
6.4.3. Custos segundo MARTINEZ (1994)	131
7. CONCLUSÃO	133
8. SUMMARY	135
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136
APÊNDICE	145

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 - Etapas para o dimensionamento de uma usina hidrelétrica de pequeno porte	16
FIGURA 2 - Seção transversal típica para barragem de concreto	39
FIGURA 3 - Dimensões básicas da barragem de concreto	74
FIGURA 4 - Dimensões básicas da tomada de água	78
FIGURA 5 - Seção trapezoidal do canal de adução, com revestimento em alvenaria	79
FIGURA 6 - Câmara de carga	84
FIGURA 7 - Dimensões dos blocos de apoio	88
FIGURA 8 - Dimensões dos blocos de ancoragem	89
FIGURA 9 - Dimensões da casa de máquinas	92
FIGURA 10 - Esquema da linha de transmissão (circuito secundário)	94
FIGURA 11 - Diagrama unifilar para o ramal secundário	94
FIGURA 12 - Croqui do início da linha (saída da casa de força)	95
FIGURA 13 - Croqui do fim da linha (medição de distribuição)	96
FIGURA 14 - Custo de micro centrais hidrelétricas em função da queda	114

	para potência de 5 kW	
FIGURA 15 -	Custo de micro centrais hidrelétricas em função da queda para potência de 10 kW	114
FIGURA 16 -	Custo de micro centrais hidrelétricas em função da queda para potência de 15 kW	115
FIGURA 17 -	Custo de micro centrais hidrelétricas em função da queda para potência de 20 kW	115
FIGURA 18 -	Custo de micro centrais hidrelétricas em função da queda para potência de 30 kW	116
FIGURA 19 -	Custo de micro centrais hidrelétricas em função da queda para potência de 50 kW	116
FIGURA 20 -	Custo de micro centrais hidrelétricas em função da queda para potência de 75 kW	117
FIGURA 21 -	Custo de micro centrais hidrelétricas em função da queda para potência de 100 kW	117
FIGURA 22 -	Custo de micro centrais hidrelétricas em função da potência e da queda	118

LISTA DE QUADROS

		Página
QUADRO 1 -	Classificação das centrais hidrelétricas de pequeno porte, conforme potência instalada e queda de projeto	11
QUADRO 2 -	Classificação das centrais hidrelétricas de pequeno porte.	12
QUADRO 3 -	Coeficiente de forma para diversos tipos de vale	37
QUADRO 4 -	Valores de K_t (coeficiente do terreno)	41
QUADRO 5 -	Velocidade máxima em canais conforme o tipo de revestimento	42
QUADRO 6 -	Coeficientes auxiliares para determinação do diâmetro do rotor das turbinas tipo Francis	50
QUADRO 7 -	Custo das obras civis da casa de máquinas	51
QUADRO 8 -	Volume de concreto em função do diâmetro do rotor da turbina	52
QUADRO 9 -	Valores do fator de custo "K" referentes ao ano de 1.982 .	59
QUADRO 10 -	Valores do fator de local "L"	59
QUADRO 11 -	Espaçamento entre blocos de apoio (selas)	87
QUADRO 12 -	Dimensão básica de geradores	91
QUADRO 13 -	Custos unitários de componentes de micro centrais	

	hidrelétricas obtidos em pesquisa na cidade de Ponta Grossa (Pr)	98
QUADRO 14 -	Elementos de dimensionamento da tomada de água	102
QUADRO 15 -	Elementos de dimensionamento do canal de adução	103
QUADRO 16 -	Elementos de dimensionamento da câmara de carga	105
QUADRO 17 -	Elementos de dimensionamento do conduto forçado	106
QUADRO 18 -	Elementos de dimensionamento da casa de máquinas ...	108
QUADRO 19 -	Elementos de dimensionamento do canal de fuga	109
QUADRO 20 -	Elementos de dimensionamento da rede aérea de distribuição	110
QUADRO 21 -	Estimativa de custo para implantação da micro central hidrelétrica	111

1. RESUMO

O presente trabalho apresenta método para a avaliação do custo de implantação de micro centrais hidrelétricas apropriadas para comunidades pequenas e isoladas. Tais centrais caracterizam-se por requerer projetos de concepção simples, por usar intensivamente a mão de obra e as indústrias da região e por apresentar custos de projeto e de implantação compatíveis com as finalidades da obra.

Tendo em vista tais fatos, foi elaborado projeto-padrão para centrais com potência de 5, 10, 15, 20, 30, 50, 75 e 100 Kw e quedas de água variando de 5 a 60 metros.

Os resultados obtidos fornecem elementos que permitem a análise rápida de um projeto para implantação de uma micro central hidrelétrica, com a definição do valor do investimento através de gráfico *queda x potência x custo*.

2. INTRODUÇÃO

2.1. Generalidades

As reservas de combustíveis fósseis, sob a forma de carvão, petróleo e gás, estarão provavelmente esgotadas, segundo a opinião de especialistas mundiais, por volta de meados do século XXI. O horizonte apontado surge do acompanhamento do atual consumo de energia, que duplicou a partir de 1969. Previsões desta natureza fazem com que se reflita sobre a urgência de se criar uma diversificação das atuais fontes energéticas, para que seja possível a exploração de todas as fontes economicamente viáveis que possam reduzir o consumo dos combustíveis fósseis. Nesta ordem de idéias, o aproveitamento das quedas de água torna-se um assunto de grande relevância e atualidade.

Por outro lado, a expansão da fronteira agrícola no Brasil vem esbarrando em diversos fatores que limitam a plena exploração das potencialidades locais e regionais. Dentre eles, merecem destaque a falta de estradas, de sistemas de comunicação, de assistência médica básica, de energia elétrica etc. A conquista destas fronteiras tem sido uma árdua tarefa que, em

função das limitações impostas pelas condições econômicas do país, tem acarretado prejuízos de ordem social e econômica de difícil equacionamento, uma vez que o vetor de desenvolvimento fica restrito às regiões tradicionais que já apresentam sinais de evidente saturação.

A política energética nacional distingue-se por privilegiar a implantação de centrais hidrelétricas de grande porte, de resto justificadas pela abundância de cursos de água de grande caudal, que, mesmo afastados dos grandes centros consumidores, têm propiciado custos unitários (US\$/kW) extremamente reduzidos perante a média mundial.

Tal fato, contudo, não quer dizer que não haja uma preocupação, no âmbito da política energética nacional, com a implantação de aproveitamentos de pequeno porte. O interesse por este tipo de aproveitamento é facilmente comprovado pelo fato de o tema vir sendo objeto de estudos e de divulgação dos organismos reguladores (ELETROBRÁS & DNAEE, 1982 - 1985), bem como de pesquisas relativas à integração das pequenas centrais ao sistema gerador global (MARTINEZ et al, 1993).

A construção de uma micro central hidrelétrica é, inegavelmente, uma das alternativas para o atendimento local das necessidades de energia elétrica, notadamente em micro regiões desfavorecidas pelos sistemas de transmissão ou de sub-transmissão das concessionárias de serviço público de eletricidade.

A micro central hidrelétrica, em função de diversas circunstâncias (operacionais, ambientais, de economia de combustível e de custos

de investimentos), pode se apresentar como uma alternativa conveniente e atraente, tanto do ponto de vista do investidor como do ponto de vista dos interesses nacionais.

No presente momento, os pequenos aproveitamentos hidrelétricos, particularmente as micros centrais hidrelétricas, encontram vários condicionantes que justificam sua implantação, dentre os quais vale a pena destacar:

- perspectivas da eliminação de subsídios para implantação de linhas de eletrificação rural;
- exigências ambientais crescentes para a construção de usinas de grande porte;
- possibilidades de crescimento do associativismo no meio rural;
- incentivos para o uso de técnicas agrícolas mais eficientes (irrigação, secagem de grãos, armazenamento etc.), todas consumidoras de energia elétrica;
- tendência para a implantação de indústrias no meio rural; e, não menos importante,
- perspectivas de implantação, por parte das concessionárias, de "realismo tarifário", a partir da privatização deste ramo, com a conseqüente liquidação dos subsídios às tarifas.

É também notório que as micro centrais hidrelétricas apresentam, em relação aos sistemas atuais de geração e transmissão, algumas vantagens, a saber:

- são as mais apropriadas para a descentralização da geração, aproximando-se de forma ideal do centro de consumo;
- necessitam tecnologia intermediária, que permite a aplicação de materiais locais e a participação da comunidade;
- já apresentam uma maturação de tecnologia eletro-mecânica que possibilita investimento seguro;
- seus custos operacionais são baixos e requerem pouca manutenção;
- o impacto ambiental, tanto durante a construção quanto ao longo de sua vida útil, é pequeno.

2.2. Planejamento e projeto de usinas hidrelétricas

Os estudos da implantação de usinas hidrelétricas englobam uma série de considerações intimamente ligadas à grande variedade de sítios, à diversidade hidrológica e às diferenças regionais e de mercado. Devido a isso, é previsível uma grande diversidade de arranjos básicos e de soluções de engenharia, bastante diferenciados entre si e com características distintas, definidas pela região em que se localizam. Estas diferenças se tornam mais acentuadas à medida que se trabalha com usinas menores e com disponibilidade energética e capacidades instaladas mais restritas, pois as "grandezas existentes", principalmente no que concerne aos equipamentos hidro-eleto-mecânicos, tendem a ser pequenas e assim se tornam muito sensíveis às variações de custo. As atividades de engenharia devem interagir constantemente com as atividades

de planejamento de forma a se ter um sistema que seja compensador do ponto de vista técnico, econômico e financeiro do investidor.

A falta de dados e estudos, além da inexistência de padronização de equipamentos, são fatores que devem ser levantados para que se possua parâmetros que permitam a perfeita definição da viabilidade destas usinas.

Os diversos estudos desenvolvidos nesta área se dedicaram principalmente a centrais com capacidade instalada acima de 500 kW, sendo irrelevante o material para usinas com potências abaixo desta marca.

Grandes projetos hidrelétricos certamente justificam o tempo e o dinheiro empregados em estudos preliminares de viabilidade. Além disso, pequenas obras hidrelétricas nem sempre podem competir com as outras fontes de obtenção de energia elétrica. Isto se deve, em geral, a custos unitários mais elevados, à menor confiabilidade em termos de potência firme e, no caso do pequeno investidor particular, à falta de experiência técnica e de recursos financeiros.

Estas peculiaridades do processo de aproveitamento de pequeno porte e, conseqüentemente, das micro centrais hidrelétricas, caracterizaram-nas, por muitos anos, em algumas regiões, como inviáveis ou apenas marginais. Um estudo representativo e realista de determinado projeto de pequena usina sempre envolveu um certo risco, pois se se chegar à conclusão de inviabilidade do projeto haverá uma perda deste investimento inicial. Daí a necessidade premente de avaliação prática, confiável, com pequeno dispêndio

financeiro, capaz de fornecer, com rapidez e segurança, indicativos de viabilidade de aproveitamento hidrelétrico na faixa de potência escolhida pelo presente estudo.

De qualquer modo, o custo de implantação de uma micro central hidrelétrica está correlacionado com o custo do produto que esta usina virá a oferecer, ou seja: a energia elétrica. É preciso levar em conta, que *custo* tem uma conotação bastante geral, envolvendo não apenas elementos de mensuração imediata, como os decorrentes de obras de engenharia civil e hidrelétrica, como ainda os elementos institucionais e sociais que, reconhecidamente, são a principal razão da existência das micro centrais hidrelétricas.

Este trabalho de pesquisa, que pretende contribuir para a redução desta deficiência, utilizar-se-á de metodologias já existentes (SANT'ANA, 1983-1988 e MARTINEZ, 1988-1994), adaptando-as às necessidades e características do tipo de usina em questão.

2.3. O estado da arte

O estado da arte, no Brasil e no exterior, apresenta variações conforme o modelo industrial e tecnológico de cada país. Diversos são as tendências de aplicação da tecnologia, estando disponíveis inúmeros modelos: o chinês (baseado em equipamentos simples, padronizados, fabricados em série), o europeu-oriental (igualmente tendente à padronização, mas com tecnologia mais avançada), o europeu-ocidental (altamente sofisticado, que privilegia repotenciação de usinas antigas e completa automatização) - de resto muito

assemelhado ao modelo asiático (em especial ao do Japão, país que explora seus escassos recursos hídricos de modo muito sofisticado) e ao americano (onde o aspecto benefício-custo apresenta-se muito enfatizado) - e ainda o latino-americano. Este último lança mão de todas as tecnologias que estiverem disponíveis, em especial daquelas difundidas pela OLADE (Organização Latino Americana para o Desenvolvimento da Energia).

No caso brasileiro, são encontradas turbinas produzidas por empresas subsidiárias de grupos transnacionais, o que facilita o acesso à tecnologia mais avançada. Por questões de custos administrativos, tais empresas concentraram seus esforços na faixa de maiores potências, geralmente superiores a 1.000 kW. Já as empresas genuinamente nacionais ocupam o nicho de mercado destinado ao suprimento de pequenas propriedades e comunidades rurais, sendo as mais apropriadas para atender os potenciais hidráulicos na faixa das micro centrais hidrelétricas. A indústria nacional de geradores tem demonstrado ampla capacidade para suprir com habilidade as potências enquadradas nesta faixa, havendo também boa disponibilidade de painéis, disjuntores, transformadores, instrumentação e linhas de transmissão. Quanto aos reguladores de velocidade e aos equipamentos de automação, há ainda forte dependência da tecnologia oriunda do exterior, em função da pequena experiência nacional em equipamentos desta complexidade. Quanto às obras civis necessárias aos pequenos aproveitamentos, pode-se contar com uma abundância de soluções praticadas pela engenharia nacional.

Apesar disso, ainda não se dispõe de parâmetros capazes de configurar uma escola ou um modelo brasileiro para as usinas de pequena capacidade, embora ultimamente venha ocorrendo uma movimentação no sentido de preencher esta lacuna (DNAEE, 1995).

Como a busca da solução para o problema representado pela avaliação do custo de implantação de micro centrais hidrelétricas, por método expedito, faz parte integrante desse esforço, quer-se acreditar que o presente trabalho seja uma contribuição nesse sentido.

3. REVISÃO DA LITERATURA

A bibliografia existente sobre o tema pode ser subdividida em três itens, a saber:

- considerações sobre usinas hidrelétricas de pequeno porte;
- especificação e dimensionamento de estruturas e equipamentos de usinas hidrelétricas de pequeno porte;
- estimativa de custos para implantação de usinas hidrelétricas de pequeno porte.

3.1. Considerações sobre usinas hidrelétricas de pequeno porte

Segundo ELETROBRÁS & DNAEE (1982), considera-se como pequena central hidrelétrica (PCH) o aproveitamento que tiver uma potência instalada abaixo de 10.000 kW (10MW). As que extrapolam este número devem ser consideradas como usinas de médio e grande portes (UHE's).

Mesmo com esta definição, não existe consenso, tanto em âmbito nacional ou como internacional, quanto à linha divisória entre as duas categorias. É consensual, entretanto, que uma pequena central hidrelétrica possui

características próprias bem definidas, não sendo portanto uma mera redução, em escala, de uma usina hidrelétrica de médio ou grande porte (UHE).

As usinas hidrelétricas de pequeno porte, segundo ELETROBRÁS & DNAEE (1982), podem ser subdivididas, apenas para efeito de classificação, conforme constante no Quadro 1:

QUADRO 1 - Classificação de centrais hidrelétricas de pequeno porte conforme potência instalada e queda de projeto.

CLASSIFICAÇÃO	POTÊNCIA	QUEDA DE PROJETO (m)		
	INSTALADA (kW)	Baixa	Média	Alta
Micro Central Hidrelétrica	Até 100	Menos de 15	15 a 50	Mais de 50
Mini Central Hidrelétrica	100 a 1000	Menos de 20	20 a 100	Mais de 100
Pequena Central Hidrelétrica	1000 a 10000	Menos de 25	25 a 130	Mais de 130

Fonte: ELETROBRÁS & DNAEE, 1982.

Não se deve esquecer que a classificação das usinas hidrelétricas de pequeno porte varia também de país para país.

Os diferentes métodos para classificação refletem, em última instância, o grau de desenvolvimento industrial de determinado país em um certo período. O que permite que se conclua que diferentes países, por estarem em

estágio distintos de modernização, têm diferentes definições para pequena central hidrelétrica. Estas variações serão apresentadas, no Quadro 2.

É importante observar que, na maioria dos países listados, admite-se a subclassificação das pequenas usinas em micro, mini e pequenas centrais, de acordo com a potência instalada.

QUADRO 2 - Classificação de centrais hidrelétricas de pequeno porte, de conformidade com os diversos países (Unidade: kW).

País	Micro	Mini	Pequena
Bolívia	100	101 - 1.000	---
China	100	101 - 500	501 - 25.000
Colômbia	---	---	> 20.000
Equador	50	51 - 500	501 - 5.000
Filipinas	---	---	>15.000
França	500	501 - 2.000	2.001 - 8.000
Grécia	100	101 - 1.000	1.001 - 15.000
Índia	100	101 - 2.000	---
Indonésia	---	---	>5.000
Japão	---	---	>10.000
Nova Zelândia	---	10.000	10.001 - 50.000
Noruega	---	---	>10.000
Panamá	100	101 - 1.000	1.001 - 10.000
Peru	5 - 50	51 - 500	501 - 5.000
Polônia	100	101 - 1.000	1.001 - 15.000
Romênia	---	---	5 - 5.000
Suécia	---	100	101 - 15.000
Tailândia	200	201 - 6.000	6.001 - 15.000
EUA	500	501 - 2.000	2.001 - 15.000

Fonte: JIANDONG, 1994.

Ciente desta variabilidade, MARTINEZ (1994) propôs uma subdivisão das usinas hidrelétricas de pequeno porte em patamares tecnológicos, o que permite uma melhor distribuição dos esforços durante as etapas do projeto e da sua implantação:

- Primeiro nível de tecnologia: baseia-se em projetos de concepção simples e uso intensivo de insumos locais, podendo alcançar apenas baixas capacidades instaladas (até 1000 kW). Devido às suas características específicas, os custos de projeto e de implantação são compatíveis com as dimensões da obra e do sistema a ser abastecido, evitando-se o acréscimo de custos oriundos de estudos e detalhamentos muito profundos para a usina.
- Segundo nível de tecnologia, ou intermediário: envolve usinas um pouco maiores, com capacidade instalada variando entre 1.000 e 10.000 kW. Neste caso, já se admite um aprofundamento maior nas etapas de pesquisa de campo e de projeto, uma vez que os custos e o tipo de sistema elétrico ao qual a usina estará interligado justificam este procedimento.
- Terceiro nível de tecnologia: bem mais sofisticado do que os anteriores, é aplicável a situações onde o sistema elétrico no qual a usina será inserida e as dimensões da obra exigem maior atenção e níveis de estudos mais aprofundados. Este tipo de tecnologia normalmente está relacionado a usinas com capacidade acima de 10.000 kW.

O primeiro tipo de tecnologia é apropriado para micro e mini centrais hidrelétricas, pois requerem projetos bastante simples e o uso intensivo de mão de obra e de indústrias locais. A usina irá pertencer a autoprodutores, cooperativas de eletrificação rural, produtores independentes ou pequenas empresas concessionárias (BAJAY et al., 1989).

Para este tipo de unidade, os manuais de micro e mini centrais hidrelétricas (ELETROBRÁS & DNAEE, 1985a e 1985b) aconselham um determinado tipo de estrutura e de nível de estudos.

A etapa de pesquisa e seleção do local para instalação de usina, neste nível tecnológico, é bastante simples e se resume basicamente na identificação do trecho de rio ou de riacho que possua condições topográficas e hidrológicas compatíveis com a instalação (MARCO et al., 1990).

Em determinadas regiões do país, como é o caso do Estado do Paraná, estão disponíveis estudos de vazões mínimas regionalizadas, que permitem a avaliação de captação do potencial de águas superficiais de uma dada bacia (SUGAI et al, 1995), e cadastramento com dados básicos alternativos de localização para pequenas centrais hidrelétricas (COPEL, 1991).

Para dimensionamento das estruturas vertentes, recomenda-se a adoção do tempo de recorrência de 500 anos para o caso de estruturas galgáveis, ou seja, de concreto. Em caso diferente, quando se tratar, por exemplo, de barragem de terra, deve-se admitir um tempo de recorrência maior, ou seja, o de 1000 anos (ELETROBRÁS & DNAEE, 1982).

3.2. Especificação e dimensionamento das estruturas e equipamentos de usinas hidrelétricas de pequeno porte

O dimensionamento das estruturas e equipamentos de uma usina hidrelétrica de pequeno porte obedece a uma seqüência lógica, que se inicia com os estudos de desvio do rio e termina com a especificação da linha de transmissão. Esta seqüência pode ser resumida pela Fig 1.

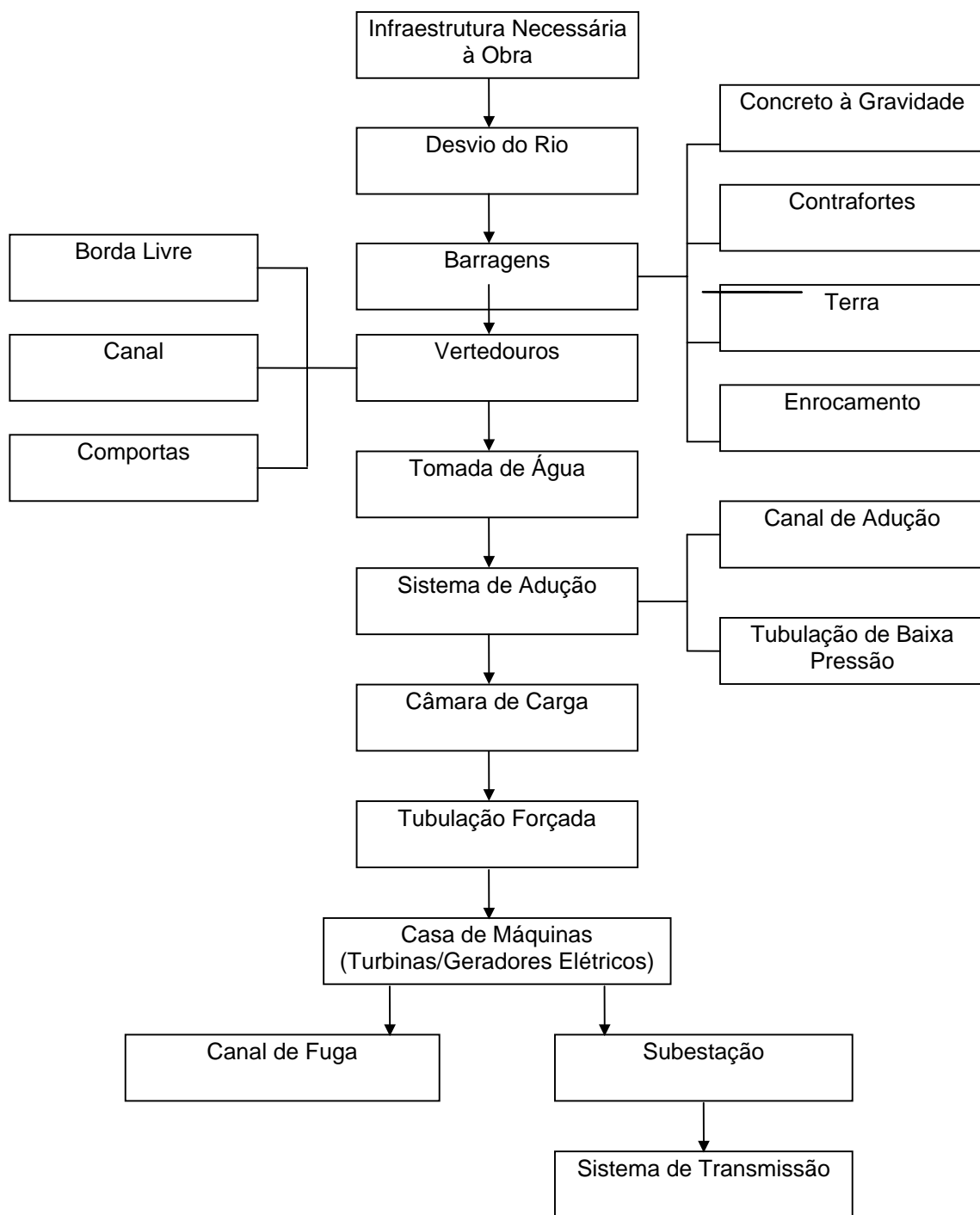


FIGURA 1 - Etapas para o dimensionamento das estruturas e equipamentos de uma usina hidrelétrica de pequeno porte.

3.2.1. Infra-estrutura necessária à obra

Para a implantação de aproveitamento hidrelétrico, mesmo o de pequena monta, é preciso que se crie uma série de condições de modo a permitir os trabalhos iniciais. Desta forma, é necessário obter informações sobre o acesso ao local, bem como sobre a situação de comunicação com localidades próximas. Os itens mínimos necessários para o início das obras são: a existência de estradas, a assistência médico-odontológico, os alojamentos para os trabalhadores e um sistema de captação de água e de lançamento de detritos.

3.2.2. Desvio do rio

O esquema de desvio do rio a ser adotado está intimamente ligado ao arranjo básico previsto para a usina e para o tipo de curso de água em questão. O melhor esquema é aquele que minimize os riscos de inundação dos canteiros de obras, que tenha um custo mínimo e que apresente pequena interferência sobre o arranjo básico do aproveitamento.

A fixação da vazão e o dimensionamento do desvio do rio são importantes porque definirão a margem de risco de incidentes que possam vir a ocorrer (inundação da obra, atraso do cronograma de obras, indenização dos danos, segurança das populações ribeirinhas). Podem, portanto, ser responsáveis por um colapso das estruturas de desvio do rio (BARROWS, 1934).

O Manual das Pequenas Centrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS & DNAEE, 1982) apresenta quatro tipos básicos para desvio de rio, que podem ser subdivididos, em função das condições locais, em mais tipos:

- desvio do rio com fundação em solo e descarga de desvio inferior a um metro cúbico por segundo;
- desvio do rio com fundação em solo e descarga de desvio superior a um metro cúbico por segundo;
- desvio do rio com fundação em rocha e desvio pela ombreira; e
- desvio do rio pela calha natural, com fundação em rocha.

Normalmente, em usinas hidrelétricas de pequeno porte, as obras de desvio são projetadas para funcionar durante um pequeno intervalo de tempo (PACORET, 1911).

Para o caso de vazões abaixo de um metro cúbico por segundo, que é o caso da maioria absoluta das micro centrais, estão disponíveis estruturas bastante simples, que podem ser implantadas mediante a utilização de elementos pré-moldados ou até de estruturas de madeira funcionando em conjunto com pequenas obras de terra (KRAATZ, 1976). Para vazões maiores, seria necessário um volume crescente de escavações em terra ou em rocha, o que elevaria o custo desta etapa.

3.2.3. Barragens

As barragens têm como função primária o armazenamento de água, para fins de abastecimento, irrigação, controle de cheias, navegação, recreação ou geração de energia. A forma construtiva adotada deve ser definida pelas disponibilidades locais de material de construção e pelas características das fundações (CREAGER et al, 1944).

As investigações preliminares têm sempre que partir de um levantamento topográfico, com um nível de detalhamento tal que permita uma boa interpretação das características locais, além de um estudo das condições geológicas do sítio em questão. Tendo como base estas informações preliminares, chega-se, em primeira análise, ao tipo de estrutura a ser implantado (GIBSON, 1921; MALLET et al, 1951; GRISHIN, 1982). Na etapa de dimensionamento das estruturas, já se tem uma noção do tipo de barragem a ser utilizado, uma vez que a etapa anterior, a de pré-dimensionamento, fornece informações provenientes de levantamentos de campo.

Os principais tipos de estruturas de barramento utilizados em usinas hidrelétricas de pequeno porte são de concreto à gravidade, de contrafortes, de enrocamento e de terra compactada.

3.2.3.1. Barragem de concreto de gravidade

O princípio estrutural da barragem de gravidade é o peso que constitui o seu corpo principal. As forças envolvidas mais significativas são a força

da água sobre o paramento de montante, o peso da barragem propriamente dita, as pressões exercidas sobre o paramento de montante, devido aos depósitos sedimentares, as forças de subpressão e as forças criadas pelo efeito das ondas do reservatório sobre a estrutura (GARCEZ, 1962; ANDRADE, 1982; MASSON, 1988). Investigações de campo, nesta etapa de dimensionamento, estabelecem dados importantes sobre as condições das fundações. Tais dados, responsáveis pelas maiores preocupações dos projetistas, já que a estrutura repousa sobre um material natural com características de difícil determinação, podem, algumas vezes, até indicar a necessidade de uma mudança do eixo da barragem determinado no pré-dimensionamento.

A implantação de uma barragem à gravidade de concreto, deve partir de alguns pressupostos mínimos:

- a rocha de fundação deve apresentar boas características, principalmente no que diz respeito à sua resistência mecânica e à solubilidade (DAVIS, 1952; PECK, 1953; TSCHEBOTARIOF, 1953);
- as características geológicas do local não podem apresentar estruturas muito fraturadas e instáveis (DAVIS, 1952; BUREAU OF RECLAMATION, 1977);
- as áreas de contato entre a estrutura de concreto e o material das fundações devem ser tratadas de forma a se evitar problemas de ordem operacional (HOOL, 1918; CONCRETE PUBLICATIONS, 1964);

- o concreto utilizado na estrutura, além de homogêneo, deve ainda ser estudado de forma que a sua dosagem seja a melhor e a mais econômica possível (SILVEIRA, 1961; ELETROBRÁS, 1989);
- o projeto deve prever os esforços causados pelo efeito da elevação de temperatura na construção da barragem (SILVEIRA, 1961; ELETROBRÁS, 1989);

Também é imprescindível que se tenha em vista os possíveis efeitos de deformação causados pelo recalque das fundações (URQUHART, 1940; WHITE et al, 1950; TENG, 1962), devendo o dimensionamento propriamente dito do maciço da barragem ser feito por blocos (DAVIS, 1952).

3.2.3.2. Barragem de contrafortes

Os principais componentes de uma barragem de contrafortes são o paramento de montante e os contrafortes propriamente ditos. Neste tipo de barragem, a água é contida através de placas impermeáveis que impedem a passagem da água. O seu princípio de funcionamento se baseia na transferência, por intermédio de contrafortes, dos esforços oriundos do peso de água contida a montante para as fundações. Existe uma série de tipos de contrafortes, sendo os mais conhecidos os planos e os em arco (CAMPINI, 1933; DAVIS, 1952, BUREAU OF RECLAMATION, 1977).

A barragem de contrafortes, frente às barragens de gravidade, apresenta um menor consumo de concreto. Apesar desta vantagem, deve-se levar

em consideração que os esforços causados nas fundações são bastante elevados (CEMAT, 1987), pois eles se concentram na região dos contrafortes e, por esta razão, tais estruturas necessitam fundação em terreno que não apresente riscos de ruptura da rocha de fundação.

3.2.3.3. Barragem de terra

As barragens de terra são as estruturas mais usuais para contenção de água e formação de reservatórios, embora nas micro centrais hidrelétricas o seu emprego não chegue a ser generalizado.

A escolha deste tipo de estrutura depende, em grande parte, de fatores locais, tais como: disponibilidade de material de construção, características das fundações e dimensão da obra (BUSQUET, 1905; DE MELLO, 1991).

Para se iniciar o dimensionamento de uma obra de terra, é necessário que se procure conhecer as características do material, o que exige ensaios, em primeira instância, para caracterizar a granulometria dos solos, os seus limites de consistência e a sua permeabilidade (DAVIS, 1952).

O projeto hidráulico se baseia em vários fatores, dentre os quais pode-se destacar o coeficiente de permeabilidade do solo na superfície de montante e as características da fundação, importantes por poderem vir a se constituir em um ponto de fragilidade de toda a estrutura. As rochas que apresentam estratificações longitudinais e horizontais necessitam de tratamento especial, com injeções de nata de cimento e posterior ensaio de verificação por meio de testemunhos. Os fatores citados acima são usados, inclusive, para o dimensionamento dos filtros da barragem e para a determinação da estabilidade da estrutura (GRISHIN, 1982).

Por se tratar de uma estrutura executada em solo, deve-se tomar uma série de providências de proteção dos paramentos, tanto de montante quanto de jusante. É usual se lançar, no paramento de montante, uma camada de enrocamento (rip-rap) com o objetivo de proteger a face contra os efeitos das ondas do lago. No paramento de jusante são plantadas, normalmente, algumas espécies de gramíneas que funcionam no sentido de impedir o efeito da erosão causada pela chuva.

3.2.3.4. Barragem de enrocamento

As barragens de enrocamento são utilizadas quando se verifica uma grande disponibilidade de material rochoso, como pedra-de-mão e blocos de maior dimensão. Os fragmentos de rocha compõem o corpo principal da barragem, responsável pela estabilidade da mesma, sendo necessária uma zona de impermeabilização para assegurar a estanqueidade da estrutura.

Os materiais de origem vulcânica, como o basalto e o granito, são tidos como ideais para este tipo de obra. Já os materiais sedimentares podem ser utilizados, mas necessitam de estudos preliminares que forneçam dados sobre o seu comportamento químico-mecânico.

As fundações para barragens de enrocamento não exigem situações tão severas quanto as das barragens de gravidade de concreto (DAVIS, 1952; SCHEREIBER, 1978), mas também não são tão favoráveis quanto as das barragens de terra.

O paramento de montante, em alguns casos, pode ser revestido com um diafragma impermeável, construído com chapas metálicas, madeira ou concreto.

Variante deste padrão de barragem é o tipo misto ou zonado, composto por um núcleo central (impermeável) de argila e por paramentos de montante e jusante de pedra. Ou ainda a que apresenta um corpo de barragem constituído de gabiões, com paramento de montante de material impermeável, geralmente argila compactada.

3.2.4. Vertedouros

A imensa maioria dos aproveitamentos hidrelétricos tem necessidade de elementos destinados a liberar o excesso de água que aflui ao reservatório durante as cheias. Essas estruturas são, não raro, localizadas de modo a acarretar um mínimo de obras civis. Mesmo assim, os vertedouros respondem por uma parcela significativa dos recursos totais para a implantação de uma usina hidrelétrica de pequeno porte.

A determinação da capacidade de escoamento de um vertedouro é uma tarefa fundamental para a segurança e o bom funcionamento da usina. Os métodos para a determinação das cheias com tempo de recorrência de 500 a 1000 anos (DAVIS, 1952; CARNEIRO 1956; RÉMÉNIÉRAS, 1965; SCHEREIBER, 1978) são, atualmente, de fácil acesso, pois já se encontram automatizados. Alguma incerteza, entretanto, ocorre por serem as bacias escolhidas para os micro-aproveitamentos relativamente pouco estudadas em termos hidrológicos.

O perfil e a seção de escoamento do vertedouro devem levar em consideração as características locais. A descarga poderá ser feita, em lâmina livre ou então, com o auxílio de dispositivos de controle de vazão como, por exemplo, comportas que mantêm sempre constante o nível da água no reservatório. Em centrais de alta queda, a manutenção do nível do reservatório não é muito importante, mas em centrais de média e, principalmente, de baixa queda, a variação de nível no reservatório pode significar perda da queda disponível.

Existem diversos tipos de vertedouros. Os mais usados em usinas hidrelétricas de pequeno porte são:

- vertedouro de borda livre;
- vertedouro de canal; e, excepcionalmente,
- vertedouro com comportas.

3.2.4.1. Vertedouro de borda livre

O vertedouro com borda livre é projetado de forma a ter um perfil de escoamento que permita a descarga máxima para uma dada lâmina de água sobre a soleira do vertedouro sem causar danos provenientes do efeito de cavitação na superfície de escoamento. Procura-se dar à curva de sua superfície um formato de ogiva. A equação da curva é uma parábola, definida, segundo CREAGER et al (1944), pela equação 1:

$$x^2 = 2 \times H \times y \dots\dots\dots (1)$$

onde:

x = distância horizontal entre a soleira do vertedouro e a superfície de escoamento do mesmo;

H = lâmina de água sobre a soleira do vertedouro; e

y = distância vertical entre a superfície da curva do vertedouro e a soleira do mesmo.

O vertedouro funciona automaticamente, descarregando toda água que não for engolida pelas máquinas. A desvantagem deste tipo de vertedouro é que não se consegue regular o nível do reservatório, o que limita a lâmina máxima sobre a soleira. Para o projeto de usinas hidrelétricas de pequeno porte, ELETROBRÁS & DNAEE (1982) recomendam o valor máximo de 1 metro para a lâmina de água sobre a soleira do vertedouro.

O projeto dos vertedouros deve partir da determinação da extensão da soleira, da curvatura da superfície, da dosagem do concreto que será utilizado, dos desenhos das formas e da especificação da ferragem que se pretende usar (DAVIS, 1952; GUYON, 1958).

3.2.4.2. Vertedouro de canal

Os vertedouros de canal são utilizados quando as condições topográficas do sítio impedem que se faça outro tipo de arranjo para esta estrutura de escoamento. Normalmente, são encaixados entre uma encosta e a lateral da barragem, podendo, ainda, se projetar para dentro do reservatório, formando um canal de descarga com saída pela frente da barragem.

O princípio do projeto segue as diretrizes do vertedouro de soleira livre, sendo possível, em alguns casos especiais, contar com comportas para o controle do nível do reservatório.

Este tipo de vertedouro somente é recomendado em situações muito específicas, pois o custo das obras de descarga é de tal ordem que onera significativamente o preço final da usina.

3.2.4.3. Vertedouro com comportas

Os vertedouros com comportas são os que apresentam as melhores características técnicas no que diz respeito ao extravasamento das vazões de cheia (ERBISTE, 1987). Entretanto, estes vertedouros têm elevado custo de instalação, operação e manutenção, o que muitas vezes faz com que se opte por uma das alternativas anteriores.

Os dispositivos de dissipação de energia devem ser utilizados para a proteção do pé dos vertedouros contra a ação destruidora do fluxo da água que, vindo em alta velocidade, se choca contra o fundo do mesmo. Normalmente, no final dos vertedouros existe a formação de um salto hidráulico, responsável pela criação de uma bacia de dissipação - elemento de proteção ao pé do vertedouro.

A quantidade de energia dissipada nos vertedouros por ocasião das cheias é, com freqüência, superior à energia gerada na usina durante o mesmo período de tempo. Isto acontece devido ao fato de a vazão de cheia ser, não raro, superior à vazão de projeto da pequena central hidrelétrica (PCH).

3.2.5. Tomada de água e sistema de adução

Os dados iniciais para o dimensionamento do sistema de adução são: a vazão de projeto, as condições topográficas e a forma de operação prevista para o reservatório.

3.2.5.1 Tomada de água

O dimensionamento da tomada de água deve prover a captação da vazão requerida pela motorização completa da usina funcionando a plena carga. As estruturas de tomada de água podem ser calculadas de acordo com os procedimentos adotados pelo BUREAU OF RECLAMATION (1977), GRISHIN (1982), ELETROBRÁS & DNAEE (1985b), e MASSON (1988). O dimensionamento da armadura a ser usada nela pode ser desenvolvido a partir das metodologias propostas por PACORET (1911), FLAMANT (1919), GARCEZ (1962) e FRENCH (1982).

3.2.5.2. Canal de adução

Para a adução de baixa pressão pode-se ter, após a tomada de água, um canal construído em solo natural, em concreto armado, com revestimento metálico, em alvenaria de pedra ou ainda uma forma mista, (CREAGER, 1944; DAVIS, 1952; GRAF, 1971; FRENCH, 1982). A escolha de um ou de outro tipo de canal será definida pelas características locais e pela restrição financeira.

Para se fazer um estudo sobre a implantação de um canal de adução é necessário que se conheça a vazão máxima a ser aduzida, a velocidade permissível, a declividade do canal, o custo do material de revestimento, a taxa anual de retorno esperada etc. Uma vez decidido o tipo de revestimento, deve-se procurar estudar as posições das juntas de dilatação e de concretagem, de forma a se evitar problemas futuros. É importante frisar que o não revestimento de um canal de adução implica em um acréscimo no custo de operação da usina em função da maior perda de carga hidráulica e da fuga de fluido. Isso deve ser contabilizado para se definir o retorno real esperado do investimento.

O projeto do sistema de adução deve conter todos os detalhes necessários para a implantação do canal, inclusive a previsão de juntas de dilatação.

ELETROBRÁS & DNAEE (1985b) sugerem que o valor da largura da base de um canal de adução não deve ser inferior a 0,80 m, para facilitar sua construção. No entanto, no mesmo manual, no exemplo de cálculo de uma micro-usina (UHE Sítio das Furnas), foi adotada uma largura de base do canal de 0,50m.

3.2.5.3. Tubulação de baixa pressão

Uma outra alternativa para o sistema de adução de baixa pressão é a utilização de tubulação. Esta solução tem como vantagem a baixa taxa de manutenção, uma vez que o sistema é fechado e não tem contato por superfície com o meio externo. A tubulação de baixa pressão pode ser instalada a

céu aberto ou enterrada (DAVIS, 1952), apesar desta última solução onerar os custos de instalação e de manutenção.

Normalmente, este tipo de tubulação, edificado em aço, fica apoiado em blocos construídos em concreto. Os blocos de apoio têm um espaçamento que varia de 6 a 15 metros, sendo que o esquema construtivo deve ser efetuado de forma a se obter uma minimização dos custos de implantação.

3.2.5.4. Câmara de carga e tubulação forçada

A câmara de carga é uma estrutura destinada a fazer a ligação do sistema de adução de baixa pressão com o conduto forçado. Dependendo do tipo de estrutura usada para a adução em baixa pressão, tem-se um tipo específico de câmara de carga.

Para o seu dimensionamento são muito significativos os esforços dinâmicos oriundos das operações de abertura e fechamento das máquinas hidráulicas.

3.2.5.4.1. Câmara de carga

No caso de se utilizar um canal de adução em vez de uma tubulação de baixa pressão, é necessário que se instale, entre o canal e a tubulação de alta pressão, uma estrutura conhecida como câmara de carga ou castelo de água.

Quando a adução em baixa pressão for projetada através de uma tubulação, a câmara de carga será apenas um recipiente de condução à tubulação forçada, não sendo necessário equipá-la com comporta e desarenador.

O dimensionamento hidráulico da câmara de carga deve ser feito de acordo com o Manual de Microcentrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS & DNAEE, 1985b) e com as recomendações feitas por GIBSON (1921), DAVIS (1952) e GRISHIN (1982).

3.2.5.4.2. Tubulação forçada

A ligação entre o sistema de baixa pressão e as máquinas hidráulicas é feita por meio de um sistema de alta pressão que pode ser constituído de uma ou mais tubulações. A configuração deste sistema depende da vazão turbinada, da extensão da tubulação e do número de turbinas escolhido.

Tais tubulações podem ser executadas com qualquer tipo de condutos capazes de resistir as altas pressões que nelas ocorrem. Embora seja conhecida a utilização até de tubos feitos com ripas de madeira (HANZHOU REGIONAL CENTER FOR SMALL HYDRO POWER, 1993), passando por tubos comerciais de PVC (MARTINEZ, 1994) e tubulações de concreto, o material mais comum é a tubulação em aço. A determinação do diâmetro econômico dos tubos pode ser feita de acordo com o Manual de Micro Centrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS & DNAEE, 1985b).

A infra-estrutura para a instalação da tubulação inclui blocos para apoio da tubulação e estruturas de ancoragem destinadas a absorver esforços oriundos de manobras rápidas nas máquinas hidráulicas e de mudanças de direção da tubulação (ELETROBRÁS & DNAEE, 1985b). As juntas de dilatação devem ser dimensionadas de forma a permitir um movimento relativo de expansão da tubulação, decorrente dos efeitos térmicos, para que a estrutura não sofra danos.

3.2.6. Casa de máquinas

Edificação destinada a abrigar os equipamentos eletromecânicos que constituem o âmago do aproveitamento hidrelétrico, a casa de máquinas deve prever, além da área necessária à mera acomodação do maquinário, espaços para sua movimentação durante as atividades de manutenção e reparos.

Para o caso dos pequenos aproveitamentos, nos quais a área da casa de máquinas é mínima e o peso do equipamento é tão pequeno a ponto de permitir a movimentação por simples talhas, o problema do dimensionamento fica reduzido ao provimento dos espaços adequados à verificação da estabilidade da construção, segundo os métodos usuais da construção civil. Arranjos-padrão, acompanhados de tabelas para determinação das dimensões em função da potência e do diâmetro de rotor do equipamento, são fornecidos por ELETROBRÁS & DNAEE (1985b).

3.2.7. Equipamentos eletro-hidromecânicos

Os equipamentos eletro-hidromecânicos são os responsáveis pelo funcionamento de qualquer usina hidrelétrica (MACINTYRE, 1983, SOUZA, 1983).

3.2.7.1. Equipamentos eletromecânicos

Os equipamentos eletromecânicos compreendem os grupos geradores (ou seja, turbinas e geradores elétricos). As turbinas hidráulicas podem ser do tipo Francis, Pelton, Kaplan, tubulares, bulbo e straflo (VARLET, 1964; MACINTYRE, 1983). A escolha será feita em função das condições de vazão de queda existentes no local. A definição do tipo de máquina a ser instalado deve ocorrer já na etapa de pré-dimensionamento da usina, o que não impede que venham a ser necessários estudos e até mesmo mudanças do tipo de máquina durante a etapa de dimensionamento. Para o projeto final são necessárias as dimensões básicas das máquinas até para que se possa fazer a localização de suas bases.

O arranjo dos equipamentos no interior da casa de máquinas é, no caso dos micro- aproveitamentos, feito com o recurso de *lay-out* padrão, que já prevê inclusive espaços para manobras e para retirada de equipamentos em caso de manutenção (ELETROBRÁS & DNAEE, 1985b).

3.2.7.2. Subestações e sistema de transmissão

Os sistemas de transmissão devem ser planejados para permitir o despacho de toda a energia a ser gerada com a menor taxa de indisponibilidade possível. Os elementos iniciais para os estudos de transmissão são os seguintes:

- valor da tensão de transmissão;
- características dos equipamentos;
- tipo de condutor;
- sistema de isolamento;
- tipo de operação do sistema.

As características de funcionamento do sistema de distribuição são de primordial importância, uma vez que elas definem a tensão de transmissão e a forma de operação da central.

3.3. Estimativa de custos para implantação de usinas hidrelétricas de pequeno porte

A estimativa dos custos dos componentes de aproveitamento hidrelétrico de pequeno porte, já na fase de pré-dimensionamento, é tema que, para potências instaladas de até 10.000 kW (10 MW), a bibliografia existente vem tratando de maneira abrangente. As equações propostas por diversos autores, todavia, correm o risco de perder a sua aplicabilidade pelo fato das micro centrais hidrelétricas ficarem situadas numa faixa inferior de potência.

3.3.1. Barragem e vertedouro

As barragens para usinas hidrelétricas de pequeno porte são, normalmente, construídas de terra, enrocamento de pedra argamassada ou de concreto. Na adoção dos parâmetros relativos aos custos dos componentes da usina hidrelétrica de pequeno porte, na maioria dos casos, já se inclui o vertedouro de superfície, comumente utilizado para esse tipo de instalação.

A altura e a extensão da barragem são as principais grandezas que definem o custo deste conjunto que, segundo MARTINEZ (1994), pode ser obtido, em US\$ de novembro de 1993, pela equação 2.

$$CBV = 140,65 \times e^{0,3798.H_b} \times k_v \times L_b \quad [R^2 = 0,8732] \quad \dots\dots\dots (2)$$

onde:

CBV = custo da barragem/vertedouro;

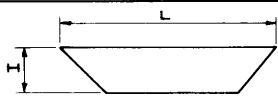
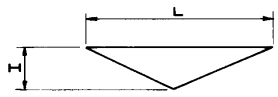
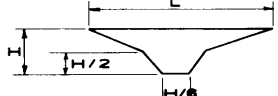
H_b = altura da barragem, em metros;

L_b = comprimento da barragem, em metros;

k_v = coeficiente de forma para o tipo de vale onde será construída a barragem (Quadro 3); e

R^2 = coeficiente de determinação da regressão estatística ajustada.

QUADRO 3 - Coeficiente de forma para diversos tipos de vale.

TIPO DE VALE	k_v
	1,85
	1,00
	0,60

(Fonte: EPRI, 1983)

O custo de uma barragem pode ser determinado também pelo método, utilizado por DNAEE & COPEL (1988), que relaciona o custo de uma barragem por metro de comprimento de crista em função da altura média da barragem.

Para uma barragem de terra, tem-se a equação 3.

$$C = 2,61 \times H^{1,848} \dots\dots\dots (3)$$

onde:

C = custo unitário em milhares de Cr\$/m (janeiro de 1982); e

H = altura média da barragem, em metros.

A transformação de cruzeiros para dólares deve ser feita utilizando-se o câmbio de janeiro de 1982, quando 1 dólar valia 134 cruzeiros. O custo de toda a barragem é obtido multiplicando-se o custo unitário pela extensão da barragem.

O custo de barragem de concreto ou mesmo de pequenas soleiras tipo vertedor (caso muito comum em muitas mini-usinas), é determinado pelo produto do volume de concreto pelo seu preço unitário. O volume é calculado pela equação 4.

$$V = (H \times T + \frac{Z \times H^2}{2}) \times E \dots\dots\dots (4)$$

onde:

V = volume de concreto, em m^3 ;

H = altura média da barragem, em metros;

T = largura do topo da barragem, em metros;

Z = inclinação do talude da face de jusante (varia de 0,15 a 0,70); e

E = extensão da barragem, em metros.

Estas variáveis são indicadas na Fig. 2.

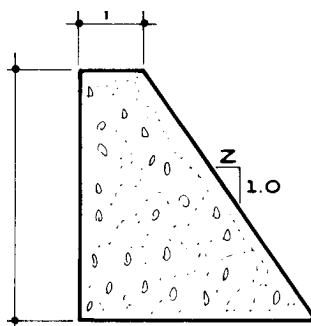


FIGURA 2 - Seção transversal típica para barragem de concreto.

O custo unitário do concreto, dado por DNAEE & COPEL (1988), para a construção da barragem é de 200 dólares/m³.

Para os casos de peças de concreto e de alvenaria de pedra, com alturas de 1,20m a 3,50m, ELETROBRÁS & DNAEE (1985b) também apresentam tabela com valores de custo de barragem por metro linear de extensão, já incluso vertedouro. Para estrutura de concreto, os custos variam de Cr\$ 420,00, para altura de 1,20m, a Cr\$ 775,00, para altura de 3,50m, valores estes referentes a novembro de 1984.

3.3.2. Tomada de água

O arranjo da tomada de água está diretamente ligado ao sistema de adução de baixa pressão. As tomadas de água poderão ter, basicamente, duas formas, ou serão acopladas ao canal de adução ou acopladas à tubulação de baixa pressão.

Os custos de ambos os tipos, segundo MARTINEZ (1994), são bastante próximos. Este custo, em US\$ de novembro de 1993, é fornecido pela equação 5.

$$CTD = 4999,23 \times Q^{0,8280} \quad [R^2 = 0,9305] \dots\dots\dots (5)$$

onde:

CTD = custo da tomada de água; e

Q = vazão de projeto em m^3/s .

Segundo DNAEE & COPEL (1988), este custo é calculado com base no volume de concreto necessário e no custo de concreto por metro cúbico.

O volume de concreto da tomada de água é, dessa maneira, avaliado com base em estruturas projetadas a partir de informações e dimensões fornecidas pelo Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS, 1982), onde são previstas duas situações, das quais apenas uma, a tomada tipo TC (quando existe canal de adução), interessa ao caso das micro centrais. O custo de tomada é estimado pela equação 6:

$$V = (0,45 \times Q^2 + 14,77 \times Q + 21,69) \times n \dots\dots\dots (6)$$

onde:

V = volume de concreto, em m^3 ;

Q = vazão, em m^3/s ; e

n = número de tomadas de água, limitado a um máximo de 3, com vazão máxima de $30 m^3/s$.

O custo unitário do concreto, estimado por DNAEE & COPEL (1988), para construção da tomada de água é de $300 \text{ dólares}/m^3$.

3.3.3. Sistema de adução

O sistema de adução pode ser constituído por um canal ou por uma tubulação de baixa pressão. A escolha é de ordem técnica e econômica, sendo mais comum nas micro centrais o uso de canais. O custo de um canal de adução, em US\$ de novembro de 1993, é dado, segundo MARTINEZ (1994), pela equação 7.

$$CCA = 106.836 \times Q^{0,5491} \times L_c \times K_t \quad [R^2 = 0,9456] \dots\dots\dots (7)$$

onde:

CCA = custo do canal de adução;

Q = vazão turbinada, em m³/s;

L_c = comprimento do canal, em km; e

K_t = coeficiente do terreno, dado pelo Quadro 4.

QUADRO 4 - Valores de K_t (coeficiente do terreno).

Tipo de topografia	K _t
Montanhosa	1,5
Ondulada	1,3
Plana	1,0

Fonte: EPRI, 1983.

Segundo DNAEE & COPEL (1988), o custo do canal de adução é determinado pelo volume de escavação necessário e pela área de revestimento, quando for o caso. Exige-se um procedimento de cálculo que pode ser resumido da seguinte forma:

Conhecida a largura da base do canal, utiliza-se a fórmula de Manning, equação 8, para se determinar a profundidade do escoamento.

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{2/3} \times S^{1/2} \dots\dots\dots (8)$$

onde:

Q = vazão, em m³/s;

n = coeficiente de rugosidade;

A = área do escoamento, em m²;

R = raio hidráulico; e

S = declividade do canal, em m/m.

Utiliza-se solução por tentativas, visto que tanto A (área do escoamento) quanto R (raio hidráulico) dependem da profundidade, que é a incógnita.

Determinada a profundidade e, em conseqüência, a seção do escoamento, verifica-se se a velocidade média não ultrapassa o valor máximo relativo ao tipo de revestimento utilizado, como fica explicado no Quadro 5.

QUADRO 5 - Velocidade máxima em canais, conforme o tipo de revestimento.

Tipo de revestimento	Velocidade máxima
Escavação em terra	1,0 m/s
Concreto	4,0 m/s
Escavação em rocha	2,0 m/s
Alvenaria de pedras	3,0 m/s

Fonte: DNAEE & COPEL, 1988.

Caso a velocidade seja excessiva, devem ser realizadas novas tentativas até que a condição de velocidade limite seja respeitada. Após a obtenção do valor definitivo da altura de lâmina de água, DNAEE & COPEL (1988) recomendam a adição de 30cm para a *borda livre*. No entanto, devido à ordem de grandeza de um micro-aproveitamento, julgou-se conveniente adotar como mínimo 20cm para a borda livre, em função das pequenas profundidades de escoamento do canal de adução. Para o cálculo do volume de escavação, DNAEE & COPEL (1988) aconselham ainda um acréscimo de 30% sobre o volume geométrico teórico.

Em se identificando as quantidades, o custo é determinado, seguindo DNAEE & COPEL (1988), com base nos valores unitários:

ESCAVAÇÃO	7,5 dólares/m ³
.....	
REVESTIMENTO:	
Concreto	30 dólares/m ²
.....	
Alvenaria de pedras	18 dólares/m ²
.....	

O custo da tubulação de baixa pressão, incluindo as juntas de dilatação e os blocos de apoio e ancoragem, pode ser obtido, segundo MARTINEZ (1994), pela equação 9.

$$CTB = 289.304 \times Q^{0,7870} \times LTB \quad [R^2 = 0,9189] \quad \dots \quad (9)$$

onde:

CTB = custo da tubulação de baixa pressão;

Q = vazão turbinada, em m^3/s ; e

LTB = comprimento da tubulação de baixa pressão, em km.

3.3.4. Câmara de carga

A estrutura que interliga o sistema de baixa pressão e a tubulação forçada é conhecida como câmara de carga ou castelo de água. A câmara de carga, que deve ser colocada o mais próximo possível da casa de máquinas, para reduzir o comprimento do sistema de alta pressão, tem como finalidades básicas:

- restringir o efeito do chamado “golpe de ariete” ao trecho do conduto forçado e
- fornecer às turbinas, no caso de aumento da carga nos geradores, o volume de água necessário até que a massa de água no sistema de baixa pressão, no conduto, seja acelerada suficientemente para suprir as máquinas.

Em ambos os casos, ela serve como órgão de compensação do sistema hidráulico.

O custo da câmara de carga (MARTINEZ, 1994), em US\$ de novembro de 1993, é dado pela equação 10.

$$CCC = 3.459,02 \times Q^{1,1679} \quad [R^2 = 0,9338] \dots\dots\dots (10)$$

onde:

CCC = custo da câmara de carga e

Q = vazão turbinada, em m^3/s .

O custo da câmara de carga (DNAEE & COPEL, 1988) é composto pelo produto do volume de concreto multiplicado por seu custo unitário. O volume de concreto é determinado, em função da vazão, a partir de informações

e de dimensões apresentadas no Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS & DNAEE, 1982). Para vazões com até 3,0 m³/s, que são as que interessam ao escopo do presente trabalho, o volume é fornecido pela equação 11:

$$V = 0,25 \times Q^2 + 2,17 \times Q + 1,17 \dots\dots\dots (11)$$

onde:

V = volume de concreto, em m³, e

Q = vazão turbinada, em m³/s.

DNAEE & COPEL (1988) recomendam para os cálculos um custo unitário de concreto igual a 300 dólares/m³.

3.3.5. Tubulação de alta pressão

A tubulação forçada, ou de alta pressão, interliga a câmara de carga e a turbina. Sofre pressão interna crescente, de montante para jusante, até o valor da altura de queda da usina, acrescida de um eventual golpe de ariete. As tubulações forçadas podem ser enterradas ou a céu aberto, sendo o último caso o mais freqüente na grande maioria dos aproveitamentos. As tubulações são apoiadas sobre berços de concreto e ancoradas em estruturas de contenção, também chamadas de blocos de ancoragem.

O custo da tubulação forçada, incluindo blocos de ancoragem e selas de apoio, segundo MARTINEZ (1994), em US\$ de novembro de 1993, pode ser estimado com o auxílio da equação 12.

$$CTA = 131.715,41 \times Q^{1,024} \times L_{tf} \quad [R^2 = 0,9774] \quad \dots\dots (12)$$

onde:

CTA = custo da tubulação de alta pressão;

Q = vazão turbinada, em m^3/s ; e

L_{tf} = comprimento da tubulação forçada, em km.

O custo do conduto forçado (DNAEE & COPEL, 1988) é determinado pelo produto de seu peso total multiplicado pelo custo unitário do aço. Para se determinar o peso do conduto em função da vazão e da queda, é utilizada a seguinte metodologia:

- Diâmetro econômico: obtido através da fórmula de Bondshu, equação 13:

$$D = 1,237 \times \left(\frac{Q^3}{H}\right)^{1/7} \quad \dots\dots\dots (13)$$

onde:

D = diâmetro do conduto, em metros;

Q = vazão turbinada, em m^3/s ; e

H = queda, em metros.

- Verificação da velocidade: conhecidos o diâmetro e a vazão, verifica-se a velocidade pela equação da continuidade:

$$U = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2}$$

onde:

U = velocidade média, em m/s ;

Q = vazão turbinada, em m^3/s ; e

D = diâmetro do conduto, em metros.

Caso a velocidade média (U) seja inferior a um valor máximo de 5,0 m/s, prossegue-se o cálculo conforme se segue. Caso contrário, adota-se o valor da velocidade como sendo igual a 5,0 m/s e recalcula-se um novo diâmetro, equação 14, pela mesma equação da continuidade, ou seja:

$$D = \left(\frac{4 \times Q}{\pi \times U} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (14)$$

- Perdas de carga: as perdas de carga contínuas são determinadas pela fórmula de Scobey:

$$h_p = \frac{2,587 \times 10^{-3} \times K_A \times U^{1,9}}{D^{1,1}} \times L$$

onde:

h_p = perda de carga contínua, em metros;

U = velocidade, em m/s;

D = diâmetro, em metros;

L = comprimento do conduto, em metros; e

K_a = coeficiente, adotado como igual a 0,34.

- Verificação das perdas de carga: caso as perdas de carga sejam inferiores a percentagem máxima especificada (15% em relação à queda total), o cálculo prossegue normalmente, conforme os itens seguintes. Caso contrário, impõe-se o valor de 15% e recalcula-se um novo diâmetro e uma nova velocidade no conduto através das equações:

$$D = \left(\frac{4,093 \times 10^{-3} \times K_A \times L \times Q^{1/9}}{h_p} \right)^{1/4,9}$$

$$U = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2}$$

- Espessura do conduto: A espessura do conduto - determinada pela queda (pressão) a que estará sujeita, pelo diâmetro do conduto e pelo tipo de material - é representada pela equação 15:

$$e = \frac{0,1 \times H \times D}{2 \times \tau} + 0,30 \dots\dots\dots (15)$$

onde:

e = espessura do conduto, em centímetros;

H = queda total, em metros;

D = diâmetro do conduto, em centímetros; e

τ = tensão admissível do material, normalmente adotado 1.200 kg/cm².

- Peso unitário do conduto: com base no Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas, ELETROBRÁS (1982) e DNAEE & COPEL (1988), foi desenvolvida a equação 16 que relaciona o peso unitário de tubos de aço em função da espessura do conduto e do seu diâmetro.

$$P_u = 2,4 \times e^2 + 246,61 \times e \times D \dots\dots\dots (16)$$

onde:

P_u = peso unitário do conduto, em kg/metro;

e = espessura do conduto, em centímetros; e

D = diâmetro do conduto, em metros.

O custo unitário do aço, 1,5 dólares/kg, foi tirado de DNAEE & COPEL (1988). Outra fonte para estimativa do custo de tubulação forçada é a tabela fornecida por ELETROBRÁS & DNAEE (1985b), na qual são apresentados os custos por metro linear de conduto, referidos a diversas combinações de queda e potência, variando aquelas de 5 a 30m e estas de 2 a 100 kW.

3.3.6. Casa de máquinas

Como a casa de máquinas é uma estrutura com a função de abrigar equipamentos hidromecânicos e parte dos equipamentos elétricos de uma usina, deve ser projetada de modo a propiciar espaço adequado para manobras e manutenção dos grupos geradores.

A equação 17, proposta por MARTINEZ (1994), fornece o custo aproximado da casa de máquinas para o caso de centrais com capacidade entre 100 a 1.200kW. Os valores estão definidos em US\$ de novembro de 1993:

$$CCM = 341,69 \times P^{0,7220} \quad [R^2 = 0,8498] \dots\dots\dots (17)$$

onde:

CCM = custo da casa de máquinas e

P = capacidade instalada da central, em kW.

Para DNAEE & COPEL (1988), o custo da casa de máquinas é estabelecido pelo diâmetro do rotor da turbina. As equações obtidas foram derivadas de informações contidas no manual Feasibility Studies for Small Scale

Hydropower (EUA. Army Corps of Engineers, 1979). No caso de turbina tipo Francis, o diâmetro é calculado pela equação 18:

$$\Phi = a \times P^b \times H^c \dots\dots\dots (18)$$

onde:

Φ = diâmetro do rotor, em metros;

P = potência da turbina, em kW; e

H = queda, em metros.

a , b , c = coeficientes apresentados no Quadro 6, a seguir.

QUADRO 6 - Coeficientes auxiliares para determinação do diâmetro do rotor das turbinas tipo Francis.

Potência P (mW)	a	b	c
0,005 ≤ P < 1,0	3,82	0,47	-0,48
1,0 ≤ P < 2,0	3,82	0,56	-0,48
2,0 ≤ P < 5,0	4,20	0,42	-0,49
5,0 ≤ P < 15,1	3,34	0,56	-0,49

Fonte: DNAEE & COPEL, 1988.

A área da casa de máquinas é determinada pelo diâmetro do rotor da turbina, pelo tipo e quantidade de turbinas e pelo tipo de casa de máquinas (isolada da barragem ou solidária à barragem). Para o caso de turbina tipo Francis Horizontal, a avaliação da área é feita através da equação 19:

$$A = (30,92 \times \Phi^2 - 9,56 \times \Phi + 69,99) \times n \dots\dots\dots (19)$$

onde:

A = área da casa de máquinas, em m^2 ;

Φ = diâmetro do rotor, em metros; e

n = número de turbinas.

Para a determinação do custo da casa de máquinas (DNAEE & COPEL, 1988), aplicam-se separadamente os custos unitários de concreto e de área construída, dados pelo Quadro 7.

QUADRO 7 - Custo das obras civis da casa de máquinas.

Construção civil	Custo unitário
Concreto	300 dólares/ m^3
Área construída	220 dólares/ m^2

Fonte: DNAEE & COPEL, 1988.

O volume de concreto (DNAEE & COPEL, 1988), determinado, em projetos padronizados nos Estados Unidos da América, para turbinas Francis Horizontal, com diâmetros de rotor de 0,30, 0,60 e 0,90 metros, forneceu os resultados que são apresentados no Quadro 8.

QUADRO 8 - Volume de concreto em função do diâmetro do rotor da turbina.

Diâmetro do rotor da turbina (m)	Volume de concreto (m ³)
0,30	8,40
0,60	21,70
0,90	52,30

Fonte: DNAEE & COPEL, 1988.

DNAEE & COPEL (1988) apresentam ainda a determinação de volume e os custos para escavação de bases de casa de máquinas, no caso da escavação ser necessária.

Outra forma de avaliação de custos da casa de máquinas com (bases, estrutura, alvenaria etc.) pode ser encontrado em ELETROBRÁS & DNAEE (1985b), onde se fornece tabela de custo global da obra em função da queda (de 5 a 30m) e da potência a ser instalada (de 2 a 100 kW).

3.3.7. Equipamentos hidromecânicos e elétricos

Os equipamentos hidromecânicos e elétricos constituem a parte vital de uma instalação hidrelétrica. Por sua importância e pelo fato das indústrias nacionais terem grande experiência na fabricação de turbinas do tipo Francis, dispõe-se de um razoável banco de dados que auxilia a fixação dos custos desses elementos.

As equações 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26, dadas por MARTINEZ (1994) em US\$ de novembro de 1993, fornecem os custos aproximados dos diversos equipamentos hidromecânicos e elétricos de uma pequena central hidrelétrica (PCH).

$$CTU = 26,09 \times P^{1,1847} \quad [R^2 = 0,8556] \quad \dots\dots\dots (20)$$

$$CGE = 92,83 \times P^{1,0489} \quad [R^2 = 0,9514] \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$CPR = 0,5228 \times P^{1,2772} \quad [R^2 = 0,8749] \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$CQG = 0,9964 \times P^{1,4541} \quad [R^2 = 0,7954] \quad \dots\dots\dots (23)$$

$$CDP = 2,8787 \times P^{1,1926} \quad [R^2 = 0,9107] \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$CCPG = 915,37 \times Q^{0,7923} \quad [R^2 = 0,9714] \quad \dots\dots\dots (25)$$

$$CVB = 32,22 \times P^{0,9327} \quad [R^2 = 0,9191] \quad \dots\dots\dots (26)$$

onde:

CTU = custo das turbinas, incluindo o regulador de velocidade;

CGE = custo dos geradores;

CPR = custo da ponte rolante;

CQC = custo dos quadros de comando;

CDP = custo de dispositivos de proteção;

CCPG = custo de comportas e grades;

CVB = custo da válvula borboleta;

P = capacidade instalada da central, em kW; e

Q = vazão turbinada, em m³/s.

DNAEE & COPEL (1988) lembram que o custo dos equipamentos eletromecânicos da casa de máquinas geralmente representa uma grande parcela do custo total da obra, principalmente nas pequenas usinas. No entanto, a ausência de dados de custo, no âmbito da literatura nacional, dificultou o processo, tornando necessário consultar diretamente os fabricantes de equipamentos no Brasil. Graças à colaboração destes, foi possível derivar as funções de custo apresentadas a seguir.

No caso de micro usinas, segundo ainda DNAEE & COPEL (1988), foram utilizadas muitas informações da publicação Sistemática de Cálculo para Determinação do Custo do kW Instalado dos Componentes Hidromecânicos e Elétricos de Micro-usinas Hidrelétricas (GUIMARÃES & ROCHA, 1983). Na faixa das micro usinas (potências menores que 100 kW), a equação 27 fornece o custo para instalações com turbinas do tipo dotado de tubo caracol, estando ainda incluídos os custos de todos os demais componentes fornecidos pelos fabricantes nacionais (regulador de velocidade, transmissão, comporta, válvula borboleta, volante de inércia, curva de sucção, tubo de sucção, grade, gerador e quadro de comando).

$$C = 5,789 \times P^{0,483} \times H^{-0,429} \dots\dots\dots (27)$$

onde:

C = custo, em milhares de dólares;

P = potência, em kW; e

H = queda, em metros.

O custo obtido pela equação 27 deve ser multiplicado pelo número de turbinas e por coeficientes que levam em conta a taxa de imposto (5%) e as despesas de montagem (25%).

DNAEE & COPEL (1988) informam ainda, detalhadamente, os casos de turbinas de modelos diferentes do tipo Francis Horizontal e outros com faixas de potência superiores às de uma micro-usina.

Também se pode lançar mão, em caso de estimativa de custo de equipamentos, da tabela inserta em ELETROBRÁS & DNAEE (1985b), na qual o valor é fornecido como uma função da queda (de 5 a 30m) e da potência (de 5 a 100 kw).

3.3.8. Canal de fuga

O canal de fuga reconduz a água que passou pela turbina até o rio. Na saída da turbina, a água pode ter velocidade razoável e, para evitar erosões, quer no fundo do canal, quer nas paredes laterais, esta estrutura deve ser revestida. Os custos, em US\$ de novembro de 1993, para construção do canal de fuga, levantados por MARTINEZ (1994), podem ser estimados através da equação 28:

$$CCF = 62,759 \times Q^{0,8037} \times L_{cf} \quad [R^2 = 0,8579] \dots\dots\dots (28)$$

onde:

CCF = custo do canal de fuga,

Q = vazão turbina, em m^3/s ; e

L_{cf} = comprimento do canal de fuga, em km.

3.3.9. Subestações e linhas de transmissão

O sistema de transmissão de uma central hidrelétrica deve contemplar o binômio *mínimo custo x máxima disponibilidade média de transmissão anual*. Assim, os custos utilizados para adoção dos parâmetros que conduziram às equações 29 e 30, que serão apresentadas a seguir, foram conseguidos a partir de projetos que levavam em consideração este binômio.

Os custos, em US\$ de novembro de 1993, da subestação e da linha de transmissão, estabelecidos por MARTINEZ (1994), podem ser estimados através das equações abaixo:

$$CSE = 0,1574 \times P^{1,8036} \quad [R^2 = 0,8157] \dots\dots\dots (29)$$

$$CLT = 1.655,30 \times (\log 11704,16 \times P) \times L_{lt} \quad [R^2 = 0,8703] \dots (30)$$

onde:

CSE = custo da subestação;

CLT = custo da linha de transmissão;

P = capacidade instalada da central, em kW; e

L_{lt} = comprimento da linha de transmissão, em km.

Embora DNAEE & COPEL (1988) forneçam o custo da subestação para diversas situações de tensão e transmissão, definido, pelo manual do Corps of Engineers (1979), em função da potência instalada total e das despesas com terraplanagem, drenagem, cercas etc., é próprio de uma micro central dispensar o dispositivo de elevação de tensão por serem de pequeno valor as potências e as distâncias envolvidas.

O custo das linhas de transmissão por quilômetro, segundo DNAEE & COPEL (1988), pode ser estimado em função da tensão de transmissão, sendo de 1560 dólares norte-americanos por quilômetro o valor adotado para linhas de 220/127V.

ELETROBRÁS & DNAEE (1985b) desenvolveram uma planilha para estimativa inicial do custo de uma micro central hidrelétrica, onde o metro linear de linha de transmissão, presumivelmente de baixa tensão, é cotado em CR\$ 10.000,00 (referido a novembro de 1984), o que equivale a 3,66 dólares norte-americanos da época.

3.3.10. Custos adicionais

Os chamados “custos adicionais” são provenientes das obras de desvio do rio, da implantação de acampamentos, da administração do proprietário, da engenharia de projeto, da reserva de contingências, dos juros durante o período de construção e de fatores regionais.

3.3.11. Custo total

Pela metodologia empregada tanto por MARTINEZ (1994) quanto por DNAEE & COPEL (1988), o custo total do empreendimento de um pequeno aproveitamento hidrelétrico é obtido pelo simples somatório dos custos dos diversos componentes, acrescidos dos custos adicionais citados, quando for o caso.

Preocupado com a fixação de um valor global aproximado para o caso de pequenos aproveitamentos, PINTO (1990a) verificou que cerca de 60% do custo de casos reais de implantação de pequenas usinas correspondia à fórmula empírica, fornecida pela equação 31:

$$C = K \times L \times \left(\frac{P}{H}\right)^{0,82} \dots\dots\dots (31)$$

onde:

C = custo de um aproveitamento hidrelétrico, em dólares;

K = fator de custo;

L = fator de local;

P = potência, em kW; e

H = queda útil, em metros.

Alguns valores do fator de custo “ K ” e do fator de local “ L ” são dados nos Quadros 9 e 10.

QUADRO 9 - Valores do fator de custo "K", referentes ao ano de 1982.

PAÍS	Fator de custo "K"	
	Valor mínimo	Valor médio
Canadá	22.200	37.000
Estados Unidos	22.200	37.000
Filipinas	22.200	37.000
Indonésia	22.200	37.000

Fonte: PINTO, 1990.

QUADRO 10 - Valores do fator de local "L".

PAÍS	Fator de local "L"
Canadá	1,24
Estados Unidos	1,00
Filipinas	0,70
Indonésia	0,70

Fonte: PINTO, 1990.

Para os micro-aproveitamentos (aproveitamento hidroelétrico com potência inferior a 100 kW), o mesmo autor conclui não ser possível desenvolver uma fórmula empírica. No entanto, alguns autores dos Estados Unidos são da opinião que a equação 31 pode ser aplicada a tais aproveitamentos, considerando o fator de custo "K" igual a 11.000.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Materiais

Para se fazer a estimativa de custos, proposta do presente trabalho, foi considerado um projeto-padrão no qual as quedas são obtidas ao longo do desenvolvimento de um talvegue de forte declividade, com abrangência de 64 diferentes combinações de potências e quedas, variando aquelas de 5 a 100 kW e estas de 5 a 60 metros, todas representando arranjos possíveis em locais reais.

O projeto-padrão pode ser apreciado no APÊNDICE 1, que contém, além dos arranjos citados, a planta de localização da área escolhida para estudo.

4.1.1. Justificativa dos materiais e métodos utilizados

O projeto-padrão em questão se enquadra, no âmbito da metodologia científica, na categoria de experimento. Como tal, deverá atender a

alguns requisitos para que os resultados possam ser estendidos, com a menor margem de incerteza possível, a outras situações.

Trata-se, na prática, de escolher um local que sirva de amostra de um universo amplo e variado e que, apesar disso, mantenha determinadas características comuns entre seus componentes.

Para que se possa afirmar que o projeto padrão é efetivamente representativo do universo dos micro-aproveitamentos, devem existir algumas características próprias, especialmente quanto à topografia, geologia, hidrologia e localização.

- **Quanto à topografia:**

(a) O curso de água escolhido deverá apresentar uma marcante inflexão em seu perfil, criando, a jusante do local que vier a ser escolhido para a tomada de água, diversas possibilidades de obtenção de quedas apenas com o desvio através de canal e/ou tubulação de baixa pressão. A eventual necessidade de barragem com finalidade de fornecer queda foge por completo do âmbito das micro-usinas.

(b) Deverá haver, a montante do local escolhido para o desvio de água, uma declividade suave do álveo e, mais ainda, um espraiamento do vale, de modo que se consiga um reservatório (que, no caso do micro-aproveitamento, não ultrapassa a regularização diária) com o mínimo de altura na barragem.

(c) Deverá ainda haver um estreitamento ou garganta no local onde ocorre a mudança de declividade, de modo a permitir a inserção de barragem de largura reduzida.

- **Quanto à geologia:**

(a) Se possível, deve existir afloramento de rocha no local a ser escolhido para a barragem, de modo a permitir o uso de estrutura de concreto simples ou de alvenaria de pedra. A existência de jazida de material rochoso próximo ao local facilita a operação, mas isso não se torna imprescindível desde que seja possível transportar, de forma rápida, pedra britada e areia, materiais de construção que, por se tratar de aproveitamento com estruturas de pequenas dimensões, não entram na composição em volume muito grande. A opção preferencial por barragem de concreto ou alvenaria se deve à maior freqüência desse tipo de solução nos micro-aproveitamentos que compõem o universo pesquisado, embora a alternativa de utilização de barragem de terra não altere substancialmente os custos. A barragem de terra, à primeira vista, parece ter custo menor do que a de concreto, mas a necessidade de um vertedouro revestido faz com que o seu custo não fique muito longe do da barragem de alvenaria.

(b) É fundamental que não haja rocha no caminhamento a ser escolhido para o canal, ou pelo menos, que ela não exista em grande quantidade. A escavação de canal para o desvio das águas em terreno rochoso,

embora possa ocorrer em alguns aproveitamentos, não é prática que se possa classificar como comum.

- **Quanto à hidrologia:**

(a) A bacia hidrográfica terá que se enquadrar numa situação média em relação à região onde se situa. O micro-aproveitamento situa-se com mais frequência nas proximidades das cabeceiras do curso de água, no ponto onde o perfil de um rio jovem (com declividade acentuada) começa a se transformar em um perfil mais adulto e, portanto, mais suave. Como não se pode esperar que haja, em todas as bacias, um vale íngreme e profundo com características muito favoráveis à acumulação de água no subsolo (região brejosa de grandes dimensões, por exemplo), esta condição, conquanto favorável ao micro-aproveitamento, deverá ser afastada do projeto-padrão para manter sua reprodutibilidade.

(b) A relação entre as vazões mínimas (que interessarão à geração de energia) e a vazão máxima (que interessará ao dimensionamento do vertedouro) não deverá se afastar muito de 1/70, número médio das bacias da porção meridional do Brasil. Para que isso ocorra, devem ser afastadas tanto as bacias com cobertura vegetal totalmente campestre ou, pior ainda, ambientalmente degradadas (cujos picos de cheia são acentuados), como aquelas de cobertura florestal incólume (que seriam excessivamente favoráveis), pois ambos os casos são extremos e extrapolam, portanto, o universo estudado.

- **Quanto à localização:**

Para a utilização econômica da energia gerada pela micro usina, não se deve ter o centro de consumo muito afastado do local do aproveitamento, o que, por si só, seria elemento de inviabilização do projeto.

4.1.2. Descrição

4.1.2.1. Local

Por atender a todos os requisitos de representatividade citados anteriormente, foi escolhido para o projeto-padrão de que trata o presente trabalho o local denominado Salto do Guarituba, situado sobre o rio de mesmo nome, um dos formadores do rio Ribeira, a 400 metros da localidade de Cerradinho, distrito de Itaiacoca, município de Ponta Grossa, Estado do Paraná.

Situado na latitude 25° 08" S e na longitude 49° 54' W, o referido local apresenta uma topografia de serra, com desnível de 65,0 m entre a soleira do Salto, na cota 915, e o ponto mais baixo, na cota 850, afastado 530,0 m do rio abaixo do salto.

A montante do salto, existe um grande espaço em topografia suave, a indicar inclusive a possibilidade de ser criado um reservatório de grandes dimensões, o que possibilitaria a regularização de vazões a longo prazo.

Geologicamente, a região se assenta sobre Arenito Furnas, formação do Devoniano com boas condições de fundação para barragens. O arenito aflora na crista do salto, local escolhido para o barramento.

Composta por campos limpos entremeados de capões e mata galeria a montante (Campos Gerais do Paraná), a cobertura vegetal se modifica, serra abaixo, para mata plúvio-subtropical (Mata de Araucária).

A bacia hidrográfica do rio Guarituba, no local escolhido, é da ordem de 13 km², o que indica a possibilidade de vazões mínimas de longo prazo da ordem de 52 l/s, conforme SUGAI, M. R. B. & MULLER, F. (1995), e engolimento de até 130 l/s no horário de maior consumo. Com uma regularização, pode-se chegar a vazões de até 182 l/s, com engolimento de até 455 l/s no horário de maior consumo.

Tem-se acesso ao local através de 800 metros de estrada secundária a partir da rodovia estadual PR 513.

4.1.2.2. Arranjo geral

Foi estudado um arranjo padrão com 8 (oito) variantes de quedas que cobrem as possibilidades de aproveitamento hidrelétrico do local.

O estudo foi realizado sobre restituição aerofotogramétrica em escala 1:5000 baseada em fotos do levantamento aéreo de 1980, feitas pelo então ITC (Instituto de Terras e Cartografia), hoje Instituto Ambiental do Estado do Paraná (APÊNDICE 1).

Compõem o aproveitamento:

- **Barragem - vertedouro**

Face às condições geológicas do leito do rio (afloramento do arenito), situação sobremaneira típica dos micro-aproveitamentos, foi prevista barragem de concreto tipo gravidade de pequena altura, a qual, incorpora, em sua parte central, o vertedouro de superfície que será dimensionado para a vazão de enchente com período de retorno de 500 anos.

- **Tomada de água**

Foi prevista uma tomada de água com desarenador, toda em concreto, conforme ELETROBRÁS & DNAEE (1985b).

- **Adução em baixa pressão**

Escolheu-se adução em canal, dispositivo destinado a conduzir a água até um ponto mais favorável para a queda, sem substancial perda de energia. Este dispositivo apresenta seção diferente para cada uma das variantes.

A escolha do revestimento se deu mais pela necessidade de generalização do modelo adotado do que propriamente pela natureza do solo local que, devido às baixas velocidades usuais em sistemas de adução dessa natureza, poderiam permitir a ausência de revestimento.

A declividade do canal foi fixada em 0,4%, valor recomendado por ELETROBRÁS & DNAEE (1985b), de modo que, para os comprimentos de adução estudados no arranjo básico, as perdas de altura (cota) se tornam desprezíveis.

- **Câmara de carga**

Dispositivo destinado a fazer a transição entre a adução de baixa pressão (canal) e a tubulação de alta pressão (tubulação forçada). A câmara de carga nada mais é que uma pequena estrutura de concreto que segue o modelo padrão dado por ELETROBRÁS & DNAEE (1985b). Ficou prevista ainda uma grade metálica para evitar a entrada de sólidos ou de corpos flutuantes de dimensões tais que venham a interferir no funcionamento da turbina.

- **Tubulação forçada**

Apesar das diversas alternativas de material disponíveis para a edificação da tubulação forçada - desde tubos formados por ripas de madeira (HANGZHOU REGIONAL CENTER FOR SMALL HYDRO POWER, 1993) passando por tubos comerciais de PVC (MARTINEZ, 1994), até tubulações de concreto comumente empregadas em obras sanitárias -, a imensa maioria das micro-usinas existentes no país emprega tubulação forçada em ferro ou aço, pois são materiais extremamente resistentes às subpressões, motivadas pelo fechamento de válvulas, que podem ocorrer em condutos desta espécie.

Foi escolhido, no presente caso, o aço dúctil com junta elástica, material de grande aplicabilidade nas micro-centrais em função de suas características de resistência mecânica (igual ou superior à do ferro fundido), de resistência à corrosão (4 a 5 vezes maior do que o aço carbono) e de resistência à flexão. Ademais, o sistema de junta elástica proporciona isolamento elétrico entre trechos de tubos, facilidade de montagem e certa mobilidade das juntas (estas duas últimas sendo de grande importância por causa do nível de tecnologia intermediário encontrado nas usinas de pequeno porte).

Os tubos galvanizados, bem como os de aço carbono, com ou sem costura, não apresentam, nos diâmetros em que são produzidos no Brasil, gama suficiente para cobrir as variantes do projeto.

As selas de concreto para a sua sustentação foram previstas de acordo com as especificações dadas por ELETROBRÁS & DNAEE (1985b).

- **Casa de máquinas**

Foi prevista uma edificação em alvenaria, com acabamento simples e de fácil manutenção, como convém a uma obra de natureza funcional.

Baldrames em pedra argamassada, piso composto de lastro de concreto e cimento alisado, janelas e portas de ferro em serralheira comum, estrutura de madeira para a cobertura e telhas de barro, sem forro, são os materiais que se julgou adequados ao presente caso.

O dimensionamento é função do diâmetro do rotor da turbina e da reserva de espaços de entorno, para possibilitar manobras, será apresentado mais adiante, respeitando as recomendações contidas em ELETROBRÁS & DNAEE (1985b).

- **Equipamento eletromecânico**

- a) **Turbina**

A escolha da turbina do tipo Francis caixa espiral deu-se principalmente em decorrência da generalidade de sua aplicação no território nacional.

Entretanto, para quedas situadas no extremo inferior das estudadas, seria possível a utilização de turbinas do tipo caixa aberta, ou turbinas tipo hélice, e para aqueles arranjos que provêm quedas mais altas seriam adequadas as turbinas do tipo Pelton, com jato simples ou múltiplo.

Nenhuma outra turbina, todavia, além da Francis (com a provável exceção das turbinas Michel - Banki, ou de fluxo cruzado, muito pouco empregadas no país até o momento) possibilita uma gama tão grande de aplicações no campo dos micro-aproveitamentos.

Efetivamente, das 42 usinas com potência inferior a 100 kW catalogadas no Estado do Paraná (BRASIL. Ministério das Minas e Energia / DNAEE), conta-se apenas uma turbina do tipo Pelton, enquanto 21 são declaradamente do tipo Francis e as demais não são especificadas.

Consultas efetuadas em catálogos de fabricantes (Metalúrgica Moller, 1996; Hidráulica Industrial, 1995), confirmam a absoluta hegemonia desse modelo de máquina hidráulica sobre os demais.

b) Regulador de velocidade

Dispositivo destinado a fazer com que a turbina tenha sua potência controlada de acordo com as variações de carga solicitadas pelo gerador, o regulador de velocidade, um servo-mecanismo hidráulico que funciona à base de pressão de óleo, é comandado por um pêndulo centrífugo sensível às variações de rotação.

Fabricado em diversas faixas de trabalho, delimitadas pela torção no eixo de regulação (de 15 a 900 kgm - Hidráulica Industrial; de 30 a 1000 kgm - Moller), os reguladores de velocidade são normalmente fornecidos pelo mesmo fabricante da turbina, sendo o momento de torção no eixo função direta da potência e função inversa da raiz quadrada da altura de queda.

c) Gerador

Em micro, mini e pequenas usinas, utiliza-se sempre gerador do tipo síncrono, que funciona com velocidade mantida constante (pelo regulador de velocidade citado), independentemente da carga elétrica que é colocada em seus terminais.

Variáveis como número de pólos, potência, tensão, fator de potência e dispositivos como sistema de excitação, aterramento e instalação (ou não) de pára-raios são temas de engenharia elétrica, sempre solucionados pelo próprio fabricante do equipamento eletro-mecânico.

d) Outros elementos

Por tradição dos fabricantes brasileiros de equipamento eletromecânico, são sempre fornecidos pela empresa que vende as máquinas os demais elementos mecânicos, quais sejam: correia(s) de transmissão, válvula borboleta, volante de inércia, curva de sucção e tubo de sucção, além de grade para a câmara de carga e, caso seja preciso, comporta para a tomada de água.

• Linha de alimentação

Devido à pequena distância até o centro de consumo (a micro usina distará 400 metros do povoado de Cerradinho), o projeto padrão prevê a transmissão de energia em baixa tensão.

Esta é uma situação típica da micro central hidrelétrica, uma vez que a tensão é fixada em função da potência a transmitir e da distância envolvida. Como os geradores funcionam normalmente em 220 ou 380 V, é sempre possível, no caso de potências abaixo dos 100 kW, a transmissão direta - sem dispositivos de elevação e de rebaixamento de tensão - a pontos de consumo localizados na faixa de até 1 km.

- **Canal de fuga**

Dispositivo que reconduz as águas utilizadas pela turbina de volta ao leito fluvial, o canal de fuga é, em princípio, idêntico ao canal de adução (seção, revestimento, etc.), tendo, quando se trata de micro usinas, pequeno comprimento. No caso de canal de fuga, há obrigatoriedade de revestimento pelo menos da região próxima ao tubo de sucção da turbina.

4.2. Métodos

Para a obtenção dos custos correspondentes às 64 variantes do projeto-padrão, é necessário fazer um pré-dimensionamento de todos os elementos componentes de cada solução, valendo-se para isso da metodologia usual, já conhecida. Partindo deste pré-dimensionamento, serão calculados os custos totais, tomando por base os valores unitários pesquisados no mercado.

4.2.1. Pré-dimensionamento

Para as diversas variantes do projeto-padrão, foram empregadas basicamente as formulações constantes no Manual de Microcentrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS & DNAEE, 1985b). Os valores correspondentes a comprimentos, cotas e demais dados de natureza topográfica foram os constantes dos trabalhos de restituição aerofotogramétrica.

As dimensões físicas de cada uma das estruturas componentes do aproveitamento estão lançadas nos quadros de 14 a 20, quadros que diferem entre si quanto às diversas potências instaladas.

- **Correlação “potência x queda”**

O potencial de uma queda de água aproveitável em termos de geração de eletricidade é aproximado, pois supõe rendimentos constantes de 95% para o gerador e de 77% para a turbina, números estes fornecidos por ELETROBRÁS & DNAEE (1985b), podendo ser calculados pela equação 32.

$$P_t = 7,16 \times Q \times H \quad \dots\dots\dots$$

(32)

onde:

P_t = potência teórica, em kW;

Q = vazão de engolimento da turbina, em m³/s; e

H = queda bruta, em m.

Considerando a perda de energia no sistema adutor, estimada em 5% (ELETROBRÁS & DNAEE, 1985b), a potência passa a ser a dada pela equação 33:

$$P = 6,80 \times Q \times H \quad \dots\dots\dots$$

(33)

onde:

P = potência nos bornes do gerador, em kW.

e a vazão (Q) a estabelecida pela equação 34:

$$Q = \frac{P}{6,80 \times H}$$

(34)

- **Barragem e vertedouro**

Foi considerada uma barragem de concreto, com altura fixada em 1,5 m, valor adotado por sugestão do Manual de Microcentrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS & DNAEE, 1985b). A largura, obtida através de restituição aerofotogramétrica, é de 35 metros.

Com a base sugerida pelo mesmo Manual, $B = 1,25$ m, chega-se às dimensões básicas constantes da Fig. 3.

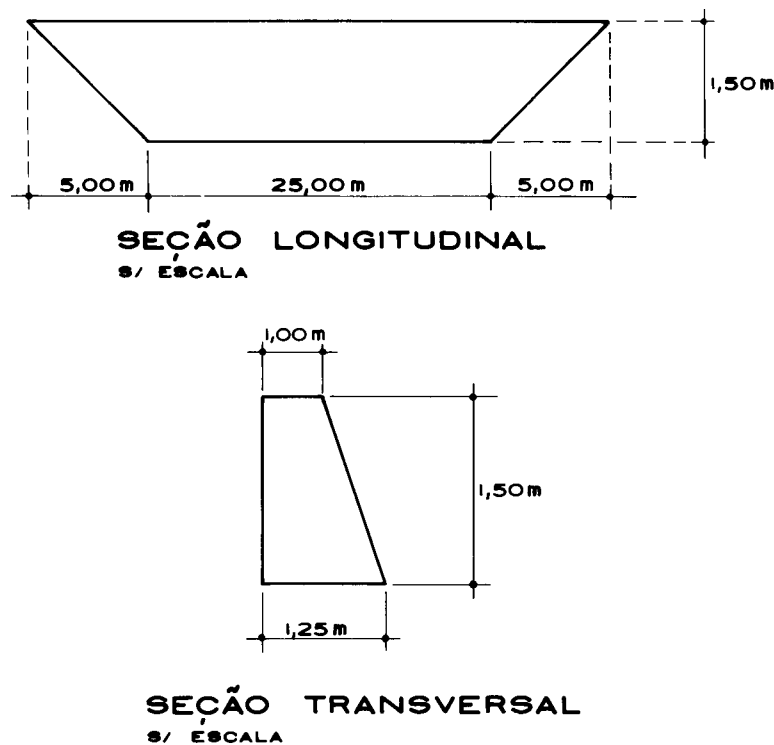


FIGURA 3 - Dimensões básicas da barragem de concreto.

O vertedouro, calculado pela equação 35, considerando uma vazão da ordem de $55 \text{ m}^3/\text{s}$, com tempo de retorno de 500 anos, será retangular:

.....

(35)

onde:

Q_v = vazão do vertedor, em m^3/s ;

c = coeficiente para vertedouro retangular de soleira espessa;

L = largura do vertedouro, em m; e

h = altura da lâmina de água, em m.

Segundo o laboratório de hidráulica da Universidade Estadual de Ponta Grossa, o valor do coeficiente (c) é de 1,82.

Para este caso, fixando-se a altura da lâmina de água em 1,00 m, obtém-se, para a largura do vertedouro, o seguinte resultado:

O que indica uma barragem totalmente vertedoura, situação não muito rara no caso de micro centrais.

O volume do vertedouro pode então ser expresso pela equação 36.

.....

(36)

onde:

V = volume do vertedouro, em m^3 ;

B_m = base média, em m; e

A_f = área frontal em m².

O que, para o caso em questão, representa:

- **Tomada de água**

O dimensionamento da tomada de água, conforme o recomendado pelo mesmo Manual de Microcentrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS & DNAEE, 1985b), resume-se no cálculo do comprimento do desarenador, uma vez que a sua largura deve acompanhar a largura do canal. Tal comprimento é fornecido pela equação 37.

.....

(37)

onde:

L_d = comprimento do desarenador, em m;

K_d = coeficiente de deposição (adota-se valores entre 5 e 10)

Q = vazão de adução, em m³/s; e

B_d = largura do desarenador, em m.

O limite de 2,00 m para o comprimento mínimo do desarenador representa um valor prático para que possa ocorrer de fato alguma deposição de material arenoso, porventura presente na água.

Com as dimensões, demonstradas na Fig. 4, e com a espessura adotada:

o volume de concreto necessário para a tomada de água será o dado pela equação 38:

$$\dots\dots\dots (38)$$

onde:

V = volume de concreto da tomada de água, em m^3 ;

e = espessura das paredes, em m;

B_d = largura da tomada de água, em m;

h = altura da lâmina de água, em m; e

L = comprimento da tomada de água.

A comporta, prevista em pranchas de madeira de espessura 0,05m, terá sua área dada por:

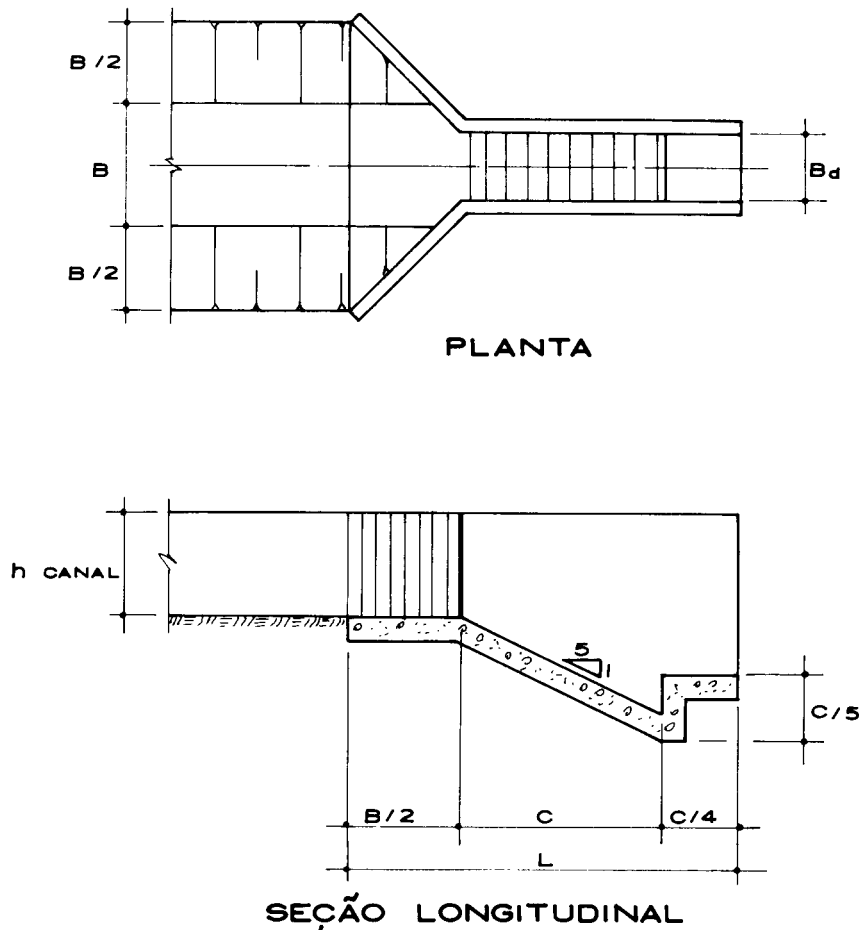


FIGURA 4 - Dimensões básicas da tomada de água.

- **Canal de adução**

O sistema de adução de baixa pressão do projeto-padrão é um canal a céu aberto, com seção trapezoidal, revestido de tijolos maciços argamassados.

A escolha desse tipo de dispositivo decorreu da sua praticidade, que permite sua adoção em inúmeras situações, independente do tipo de solo.

Como única condição, é fundamental que o canal seja sempre realizado mediante corte do terreno, o que é quase sempre possível, tendo-se em vista o tipo de revestimento sugerido e os taludes adotados para as margens.

Estes últimos foram projetados com inclinação de 1:1 ($\alpha = 45^\circ$), valor recomendável para taludes de corte. Para a base menor, foi adotado o valor ($b_m = 2 \times h$).

Conseqüentemente, a base maior da seção molhada será dada por:

$$b_M = 4 \times h.$$

Como margem de segurança ou borda livre (*free board*), considerou-se suficiente uma altura igual à terça parte da altura de água, mas não inferior a 20 cm, conforme se vê na Fig. 5.

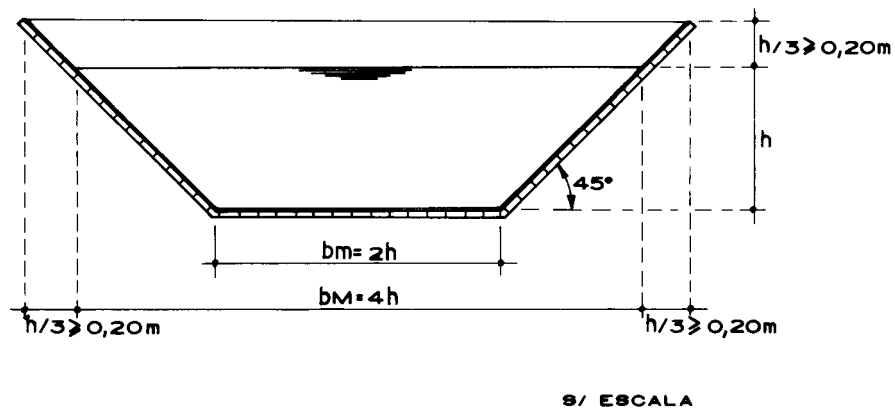


FIGURA 5 - Seção trapezoidal do canal de adução, com revestimento em alvenaria.

Isso posto, conduziu-se o cálculo dos elementos da seção do canal da seguinte forma:

a) Impõe-se uma velocidade limite como função do tipo de revestimento. Para o caso, sendo o revestimento de tijolos argamassados, a velocidade foi limitada em 2,0 m/s, sendo uma velocidade bastante conservadora para levar em conta as imperfeições que se pode esperar em uma construção desse tipo. Por outro lado, a velocidade mínima, escolhida em função da granulometria do eventual material em suspensão, deverá ser superior a 0,3 m/s, permitindo assim, no máximo, carregamento de partículas finas como argila e silte, que não são abrasivas para os equipamentos eletro-mecânicos. Ressalte-se que, junto à tomada de água, está prevista a existência de um desarenador.

b) com uma velocidade qualquer adotada, de acordo com a Equação da Continuidade, calcula-se a altura da lâmina de água a partir dos elementos mostrados na Fig. 5, ou seja:

onde:

V = velocidade do escoamento, em m/s;

Q = vazão, em m³/s;

A = seção do escoamento, em m².

como: $b_m = 2.h$ e $b_M = 4.h$

então:
$$h = \sqrt{\frac{Q}{3.V}}$$

c) Caso $b_m = 2.h$ tenha valor inferior a 0,50 m, adota-se tal valor para a base menor da seção trapezoidal, uma vez que se trata de valor mínimo prático para execução da obra, daí:

$$b_m = 0,50 \quad \text{e} \quad b_M = 0,50 + 2.h.$$

Recalculando-se a altura, teremos:

$$h = 0,50 \times \sqrt{0,25 + \frac{4.Q}{V}} - 0,25.$$

d) Verifica-se a velocidade do escoamento pela Fórmula de Manning, adotando, como parâmetros básicos, a declividade (I) de 0,4%, recomendada pelo Manual de Microcentrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS & DNAEE, 1985b), para que não se perca altura útil de queda, e ainda o coeficiente $n = 0,02$ para a rugosidade do revestimento. Da seção mostrada na Fig. 19 tem-se:

$$p = (2 \times 1,41.h) + b_m = 2,82.h + 2.h = 4,82.h \quad (\text{perímetro molhado})$$

$$S = \frac{2.h + 4.h}{2} \times h = 3.h^2 \quad (\text{seção de escoamento})$$

$$R = \frac{S}{p} = \frac{3.h^2}{4,82.h} = 0,62.h \quad (\text{raio hidráulico}).$$

Logo, a velocidade calculada pela Fórmula de Manning será dada por:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2} = 2,30.h^{2/3}.$$

e) Caso a velocidade tenha fornecido valor diverso daquele adotado no item (a), adota-se novo valor para a mesma, até que se restabeleça o equilíbrio.

A seção escavada do canal será acrescida da área causada pela folga (aqui adotada como função da altura da lâmina de água, ou seja:

$f = \frac{h}{3} \geq 0,20m$) e da seção necessária à colocação dos tijolos do revestimento.

A quantidade de revestimento de alvenaria vem da Fig 4, dada pela equação:

$$L_{tij} = b_m + \sqrt{2} \times (h + f),$$

onde:

L_{tij} = largura dos tijolos, em m;

b_m = base menor do trapézio, em m;

h = altura da lâmina d'água, em m. e

f = folga acima definida, em m.

Como conseqüência, a seção escavada passa a ser dada pela equação 39:

.....

(39),

onde:

A_{esc} = seção escavada, em m²,

e o valor 0,06m corresponde à espessura dos tijolos maciços

Para se chegar ao volume de escavação, nada mais resta senão obter o produto da área da seção escavada pelo comprimento do canal, lido diretamente nos esquemas de *lay-out*.

- A área total de revestimento será dada pelo produto da largura de tijolos anteriormente obtida pelo comprimento do canal.

- **Câmara de carga**

Dispositivo de conexão entre o canal de adução e a tubulação forçada, a câmara de carga é uma pequena obra em concreto armado, com espaço suficiente para acomodar grade protetora contra penetração de materiais estranhos na tubulação forçada.

Segundo os critérios preconizados pelo Manual de Microcentrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS & DNAEE, 1982b), as suas dimensões básicas são: a largura (idêntica à da base menor do canal de adução), a altura (decorrente da soma da altura do canal com a altura da grade, depois de colocada) e o comprimento (função da altura anterior).

A Fig. 6 apresenta as dimensões a serem adotadas para a câmara de carga. Não se pode deixar de lembrar que a grade terá área igual à da seção líquida do canal, acrescida de 50%, para compensar a diminuição da seção de escoamento causada pelas barras de ferro.

A espessura das paredes de concreto é função da altura e será dada por:

$$e = \frac{h}{20} \geq 10cm.$$

Enquanto o volume de concreto necessário para a construção da câmara de carga será dado pela equação 40:

onde:

V = volume de concreto da câmara de carga, em m^3 ;

B = largura da câmara de carga, em m;

h_g = altura da grade, em m;

h_c = altura da câmara de carga, em m,

e = espessura das paredes, em m; e

L = comprimento da câmara de carga.

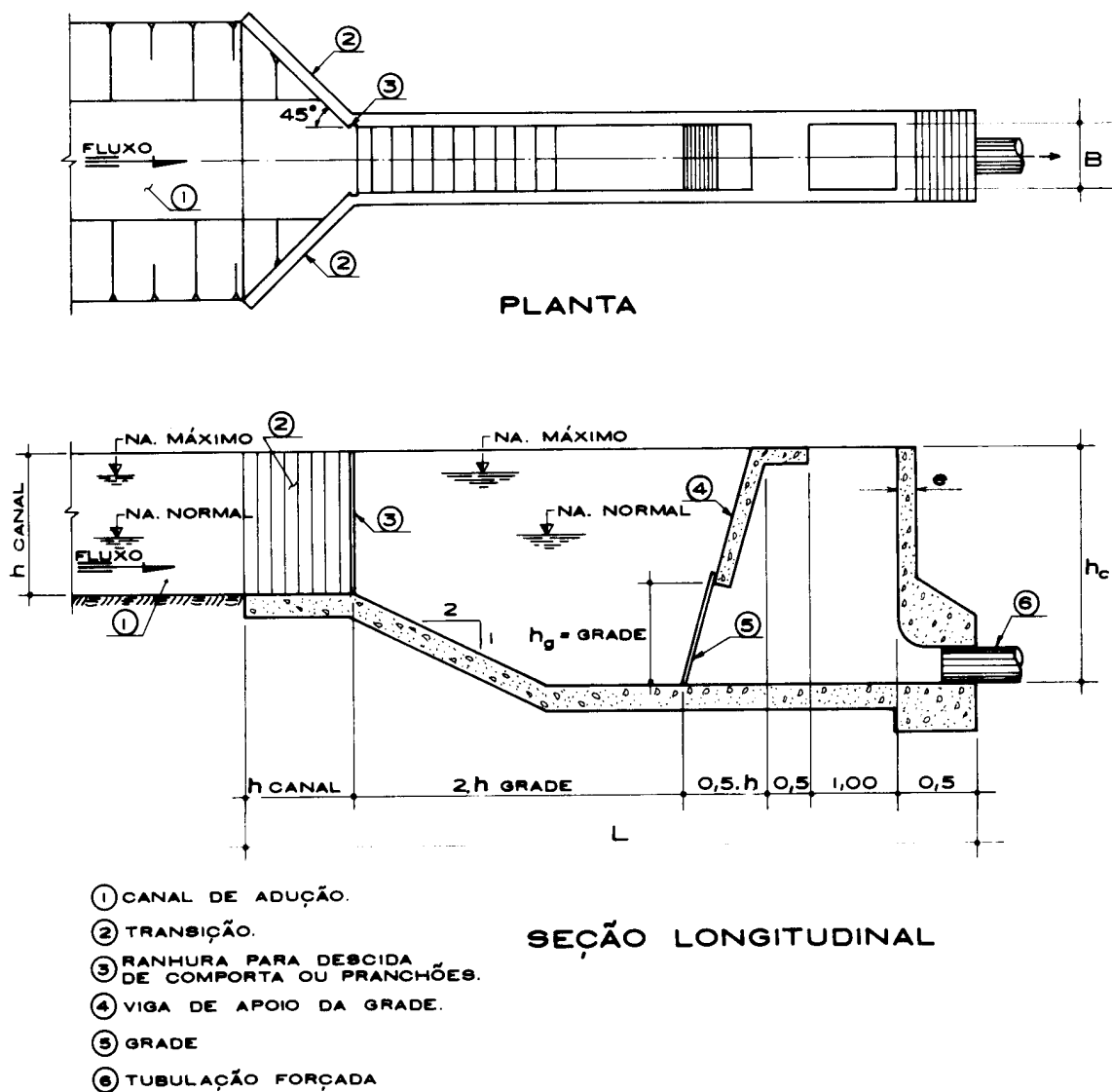


FIGURA 6 - Câmara de carga

- **Tubulação forçada**

Tendo como base as considerações expostas anteriormente, foi adotada a tubulação de ferro dúctil, que tem o seu dimensionamento indicado pelo Manual de Microcentrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS & DNAEE, 1985b), ou seja:

a) determina-se o diâmetro econômico, através da equação:

onde:

Q = descarga de projeto, em m³/s;

D = diâmetro interno da tubulação, em cm;

L = comprimento da tubulação, em m;

H = altura da queda de água bruta, em m; e

K = constante, tomada para tubulação de aço com o valor de 52,815.

b) adota-se o diâmetro comercial mais próximo do calculado, verificando-se a seguir a velocidade de escoamento através da Equação da Continuidade, a saber:

onde:

V = velocidade, limitada em 5,0 m/s em função do material adotado;

Q = descarga de projeto, em m³/s; e

D = diâmetro da tubulação, em m.

c) calcula-se a espessura mínima do material, conforme recomendações do Manual de Microcentrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS & DNAEE, 1985b):

onde:

e = espessura de parede, em mm;

D = diâmetro interno, em mm;

H = pressão estática (altura da coluna de água sobre a tubulação), em m; e

e_s = sobre espessura para corrosão = 1 mm.

É importante ressaltar que no cálculo da espessura da parede da tubulação, apresentada acima, está considerada uma sobrepressão, devido ao golpe de aríete de 35%.

De acordo com o método de ALLIEVI (ELETROBRÁS & DNAEE), o valor da sobrepressão citada somente será ultrapassado quando o comprimento da tubulação forçada for superior a 3,6 vezes a altura da queda.

Nos diversos arranjos do projeto em pauta não se encontra nenhuma vez relação superior a esta.

A espessura obtida terá que ser superior à espessura mínima das tubulações de aço, que será o maior dos seguintes valores:

Obviamente, a espessura calculada acima será aproximada para a espessura comercial imediatamente superior.

- **Blocos de apoio (selas)**

Os blocos de apoio da tubulação - optou-se por estruturas simples de concreto - terão sua quantidade determinada pelo espaçamento entre apoios, conforme o Quadro 11.

QUADRO 11 - Espaçamento entre blocos de apoio (selas) da tubulação

Diâmetro D (m)	Espaça- mento L (m)	Diâmetro D (m)	Espaça- mento L (m)	Diâmetro D (m)	Espaça- mento L (m)
0,15	3,00	0,55	5,50	0,95	6,80
0,20	3,50	0,60	5,70	1,00	6,90
0,25	3,90	0,65	5,90	1,05	7,10
0,30	4,20	0,70	6,00	1,10	7,20
0,35	4,50	0,75	6,20	1,15	7,30
0,40	4,80	0,80	6,40	1,20	7,40
0,45	5,00	0,85	6,50	--	--
0,50	5,30	0,90	6,70	--	--

Fonte: ELETROBRÁS & DNAEE, 1985b.

O volume de cada bloco, que interessa diretamente ao levantamento de custos, vem da Fig. 7 e resulta como função do diâmetro, de acordo com a equação 41:

(41)

onde:

V = volume do bloco de apoio, em m³, e

D = diâmetro da tubulação, em m.

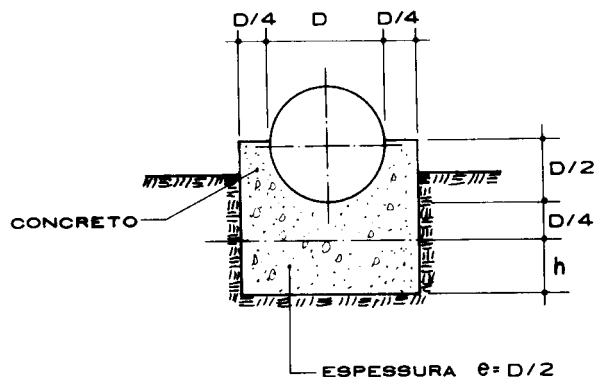


FIGURA 7 - Dimensões dos blocos de apoio da tubulação

Considerou-se que a altura (h) necessária para vencer as irregularidades do terreno tem o valor médio ($D/2$).

- **Blocos de ancoragem**

Com um espaçamento máximo de 80 m entre si (ELETROBRÁS & DNAEE, 1985b), os blocos de ancoragem se destinam a absorver os esforços provenientes de mudanças de direção. Constante do projeto-padrão aqui estudado, com comprimento máximo de tubulação forçada de 65 m (típico para o caso de micro-aproveitamentos) e com alinhamento único (que se torna possível pela escolha adequada do local da câmara de carga), previu-se uma única unidade de bloco de ancoragem junto à casa de máquinas. Baseando-se na topografia estudada no projeto padrão, obtém-se o ângulo de chegada da tubulação forçada, que será algo em torno de 30° , resultando desse modo as dimensões da Fig. 8, em que o volume será aquele dado pela equação 42:

$$V = 22,81 \times D^3 \quad \dots\dots\dots$$

(42)

onde:

V = volume do bloco de ancoragem, em m^3 , e

D = diâmetro da tubulação, em m.

A adoção de um único bloco de ancoragem foi verificada para o caso crítico, ou seja, foi o maior esforço transmitido pela tubulação, que acontece para potência de 100 kW, queda de 5m, e vale 13.600 N. Para esta situação, tem-se as dimensões do bloco, dadas pela Fig. 8. A maior tensão normal que ocorre no referido maciço vale 0,9 MPa, enquanto a maior tensão tangencial fica abaixo de 0,03 MPa. Logo, a peça atende com folga as solicitações de natureza estrutural, visto que o material suportaria, com segurança, tensões normais de 2,5 MPa e tangenciais de 0,9 MPa.

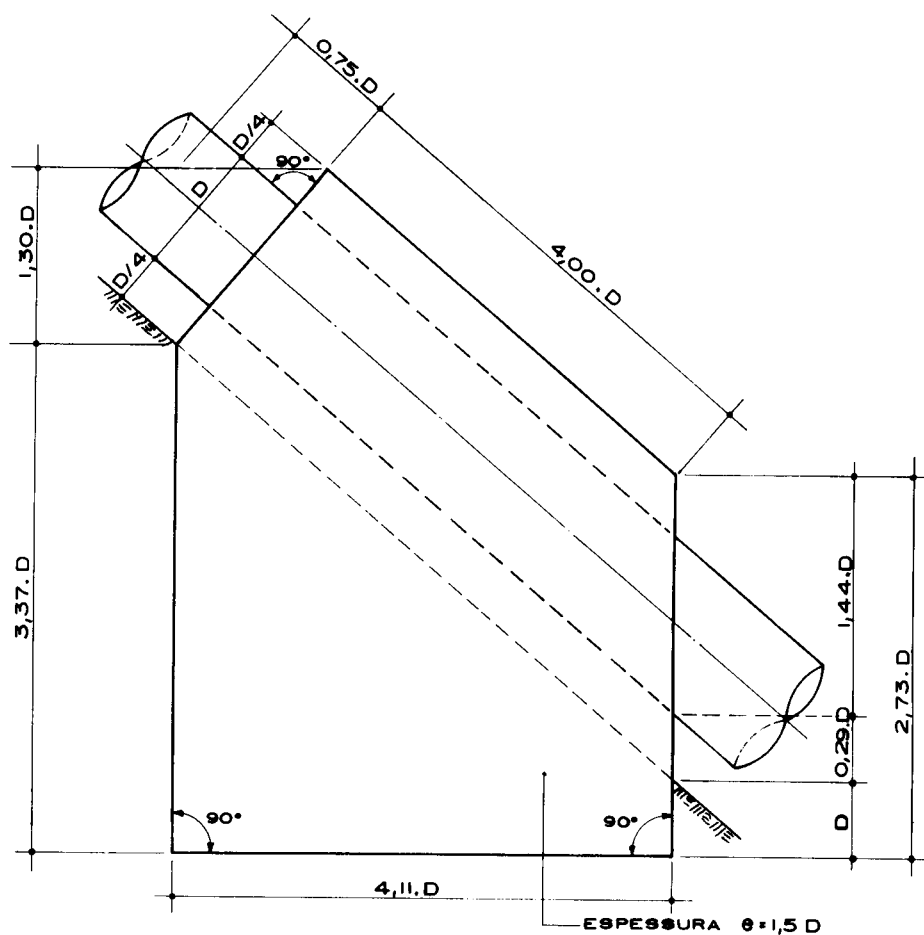


FIGURA 8 - Dimensões dos blocos de ancoragem

- Equipamento eletromecânico

Como se trata de dimensionamento específico, que segue metodologia própria, merecedor inclusive de literatura especializada (GUIMARÃES, L.B., et al, 1983, MACINTYRE, A. J., 1983, SOUZA, 1983), o pré-dimensionamento limitar-se-á, dentro do escopo do presente trabalho, à determinação do diâmetro do rotor da turbina, através de equação dada por ELETROBRÁS & DNAEE (1982 e 1985b), visto que todos os elementos necessários à fabricação do equipamento eletromecânico são definidos a partir da determinação desse diâmetro, diâmetro que é dado pela equação 43:

(43)

onde:

D_R = diâmetro interno na saída do rotor da turbina, em m;

H = queda bruta, em m; e

Q = vazão nominal, em m^3/s .

Por outro lado, a avaliação do custo do equipamento eletromecânico será feita para o conjunto constante de: turbina Francis com tubo caracol, regulador de velocidade, transmissão, comporta, válvula borboleta, volante de inércia, curva de sucção, tubo de sucção, grade, gerador e quadro de comando.

É possível, graças à existência de trabalho consagrado a este item, obter o custo aplicando diretamente a equação 27.

- **Casa de máquinas**

Construção simples, a casa de máquinas, cuja planta aparece na Fig.9, tem o seu comprimento definido pela equação 44:

$$C = 6,3 \times D_R + G_1 + 2,40 \quad \dots\dots\dots$$

(44)

onde:

C = comprimento da casa de máquinas, em m;

 D_R = diâmetro do rotor, em m; G_1 = dimensão do gerador, dada pelo Quadro 12.

QUADRO 12- Dimensão básica de geradores

Potência (kW)	G_1 (m)	Potência (kW)	G_1 (m)
2,4	0,53	16,0	0,83
3,2	0,53	20,0	0,83
4,0	0,57	24,0	0,90
5,2	0,57	32,0	0,90
6,0	0,57	40,0	0,90
7,2	0,61	58,0	1,07
8,0	0,61	64,0	1,07
10,0	0,80	80,0	1,07
13,0	0,83	100,0	1,20

Fonte: ELETROBRÁS & DNAEE, 1985b.

Já a sua largura será dada pela equação 45:

.....

(45)

onde:

L = largura da casa de máquinas, em m.

Assim, para se chegar à área construída da casa de máquinas, em m², para que se possa efetuar o levantamento de custos, basta multiplicar os dois resultados:

$$A = C \times L$$

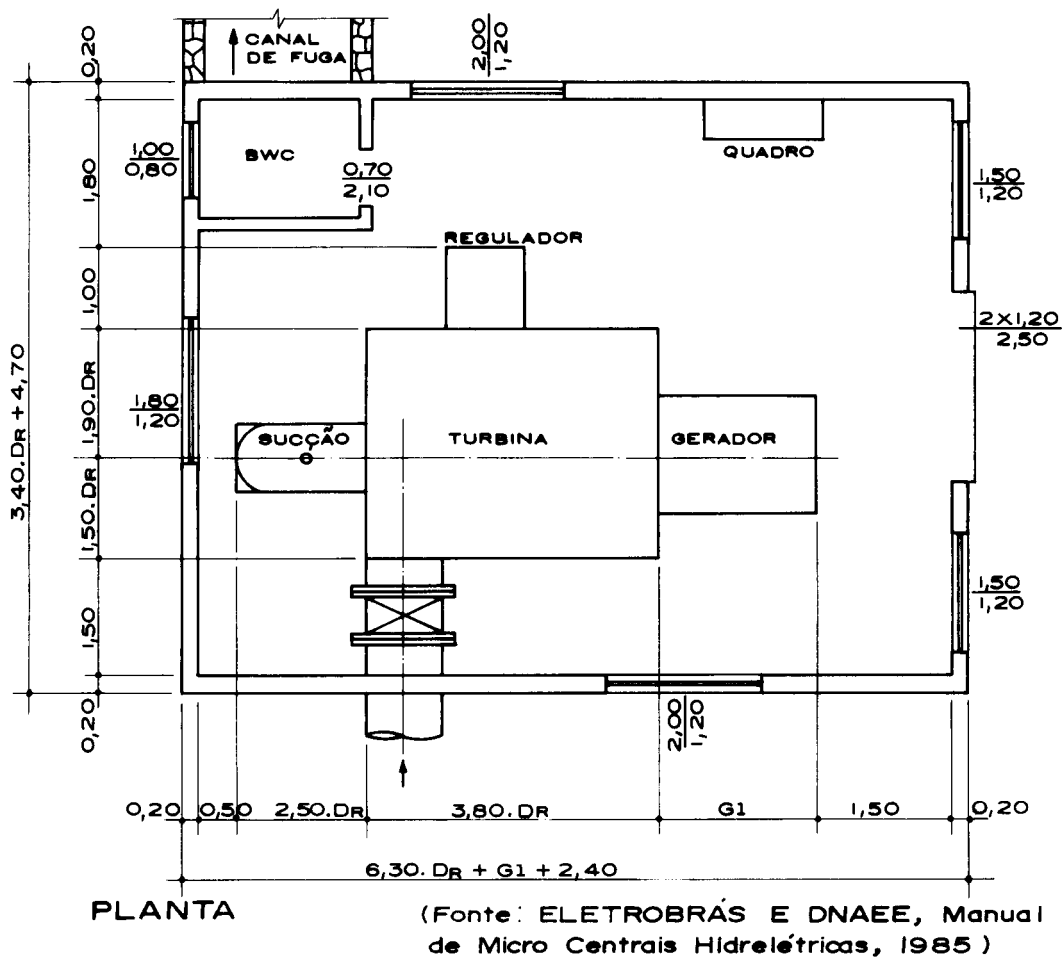


FIGURA 9 - Dimensões da casa de máquinas

- Canal de fuga

Em virtude da continuidade das vazões, o canal de fuga terá a mesma seção que o canal de adução, havendo variação tão somente no comprimento, que será de 10,0 m, pois a casa de máquinas de uma micro central, em

decorrência da pouca vazão dos cursos de água, pode ficar situada bem perto da margem.

- **Rede aérea de distribuição**

Para o caso em questão não foi prevista subestação. A carga elétrica será transmitida totalmente em baixa tensão através não de linha de transmissão, mas diretamente, via rede aérea de distribuição. Ressalte-se a importância deste fato para a garantia do baixo custo da instalação.

A rede aérea de distribuição foi projetada em cabo de alumínio - com alma de aço, prevendo queda de tensão máxima de 10% -, em 380/220V e em postes de concreto de 9m de altura, tipo duplo "T", com ligação entre o gerador e a linha aérea em cabo de cobre isolado para 750V, protegido em tubulação de PVC reforçada, para evitar choques mecânicos.

Para o cálculo da rede aérea de distribuição, foi utilizada a equação 46.

.....

(46)

onde:

P = potência da carga, em W;

E = tensão, em V;

I = corrente, em A; e

= fator de potência

Da mesma maneira que foi projetado o ramal entre o gerador e a linha aérea, deverá haver um ramal que ligará a linha aérea até a chave de proteção geral, colocada no fim da linha.

Para isolamento da linha, optou-se por isoladores de porcelana vidrada, suportada por armações tipo *presbow*, em ferro galvanizado a fogo.

O dimensionamento dos condutores do ramal de saída da casa de máquinas até a rede externa aérea, foi feito levando em consideração uma faixa para variação (de 0,80 a 0,95) do fator de potência da carga.

As Figs. 10, 11, 12 e 13 mostram a linha de transmissão, seus detalhes e o diagrama unifilar.

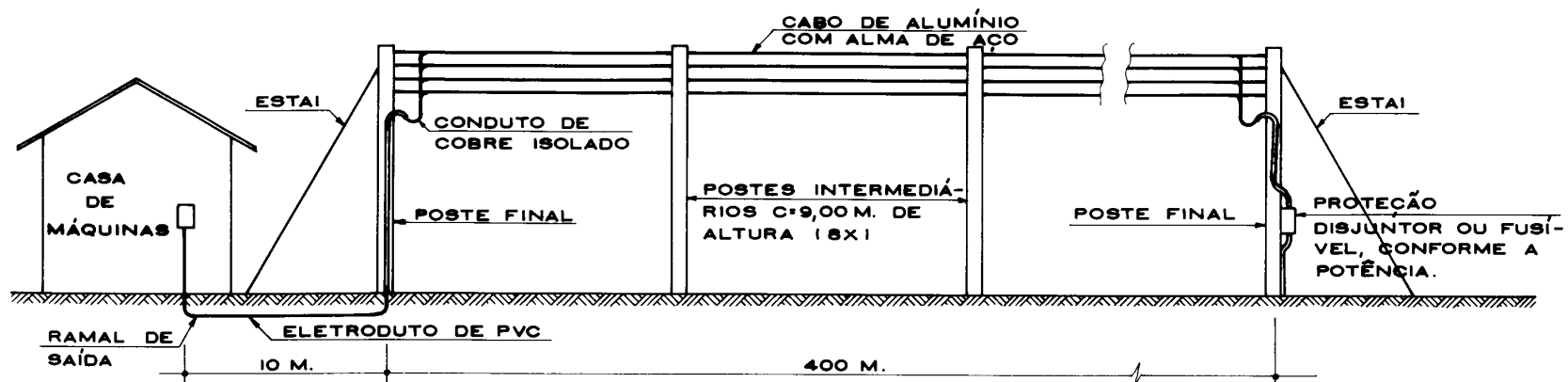


FIGURA 10 - Esquema da linha de transmissão (circuito secundário)

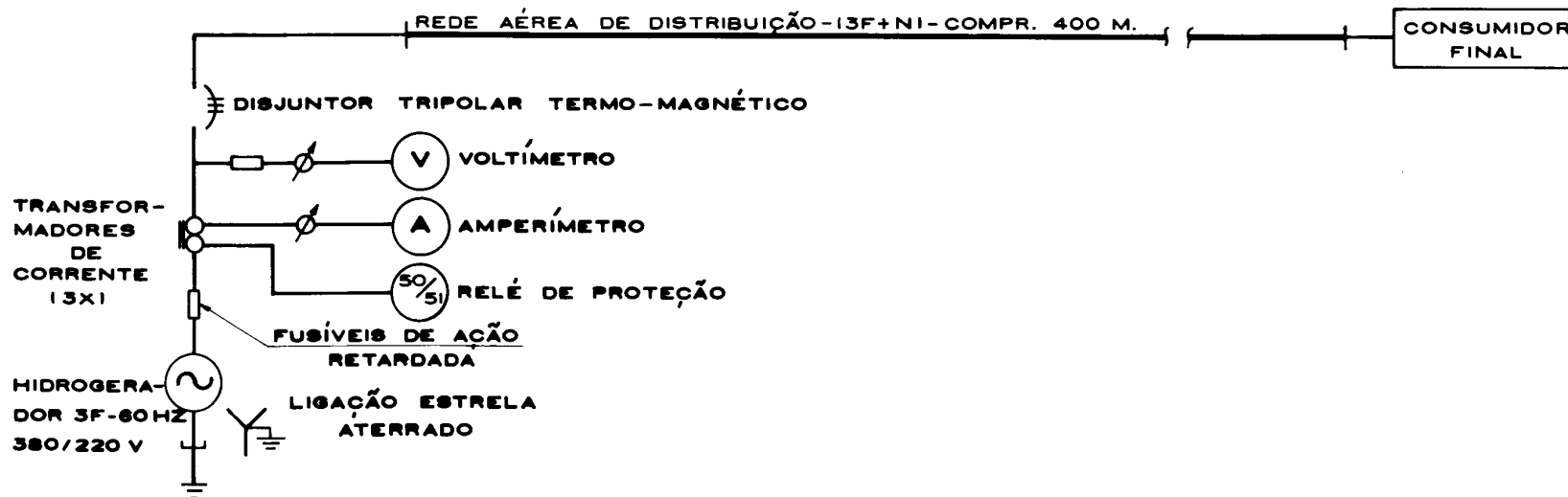


FIGURA 11 - Diagrama unifilar para o ramal secundário

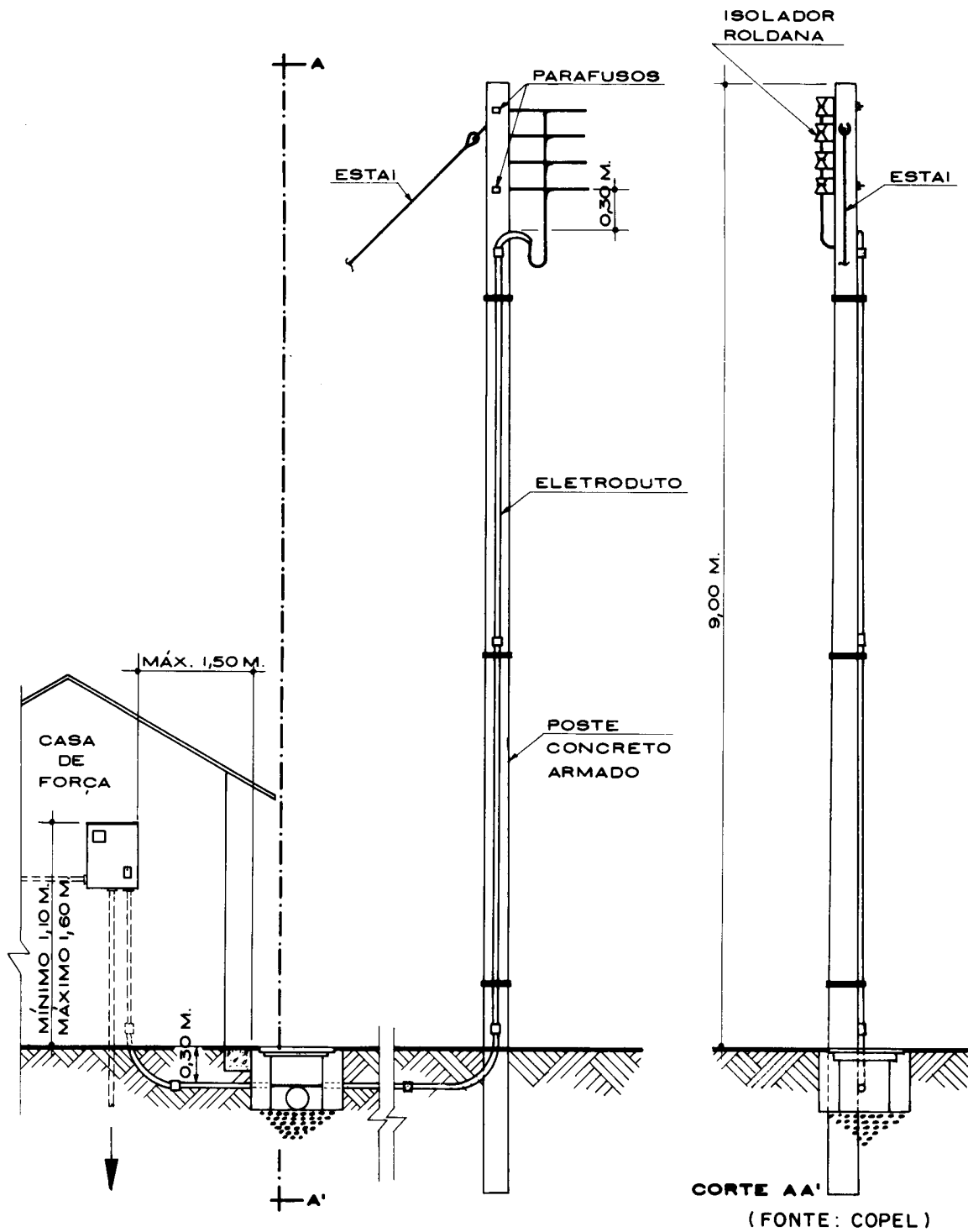


FIGURA 12 - Croqui do início da linha (saída da casa de força)

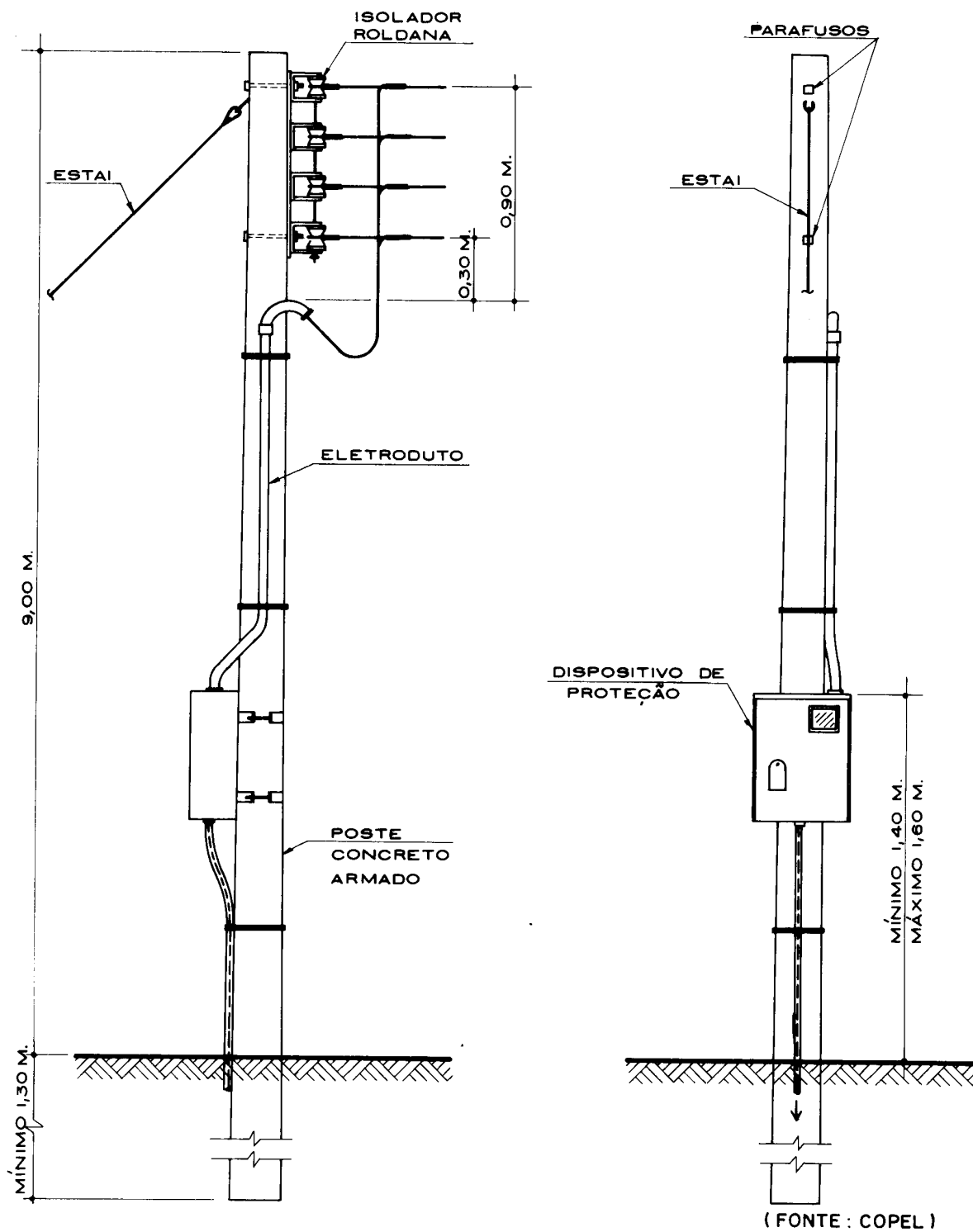


FIGURA 13 - Croqui do fim da linha (medição de distribuição)

4.2.2. Custos unitários

Para a obtenção do custo das diversas estruturas que compõem o micro-aproveitamento, é necessário aplicar às quantidades obtidas no pré-dimensionamento os valores unitários de custo, levantados segundo as técnicas usuais da engenharia econômica.

A composição de custos foi realizada com a quantidade de materiais e mão-de-obra estabelecidas nas Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos (TCPO 10, 1996).

Os preços, inclusive os pisos salariais, foram objeto de consulta a fornecedores no mercado de Ponta Grossa (PR), no mês de março de 1996, sendo que naquela data a cotação do dolar era de 1US\$ = R\$ 0,97.

Os valores resultantes de tal composição são os constantes do Quadro 13:

QUADRO 13 - Custos unitários de componentes de micro centrais hidrelétricas, obtidos em pesquisa na cidade de Ponta Grossa (PR) (1 US\$ = R\$ 0,97).

Discriminação	Valor em R\$	Unidade
• Construção civil da casa de máquinas	188,00	m2
• Escavação manual em solo	7,14	m3
• Concreto fck=15 Mpa (inclusive lançamento)	138,00	m3
• Fôrmas de madeira	17,00	m2
• Armadura de aço CA-50/CA-60	1,57	kg
• Revestimento de tijolos maciços rejuntados	12,60	m2
• Grades metálicas (32 kg/m2)	5,00	kg
• Comporta de madeira (pranchões de 0,05m)	1.400,00	m3
• Linhas de transmissão, incluindo cabos, conectores, alças, ramal de entrada e descida até a chave, para:		
- 5 kVA	6,65	m
- 10 kVA	7,82	m
- 15 kVA	10,01	m
- 20 kVA	10,05	m
- 30 kVA	10,18	m
- 50 kVA	18,66	m
- 75 kVA	19,30	m
- 100 kVA	20,08	m

4.2.3. Modelos de regressão

Os modelos de regressão utilizados estão assim definidos:

Modelo 1 (**MOD 1**): $C = \alpha + \gamma \cdot \exp(-\beta \cdot H) + \varepsilon_i$

Modelo 2 (**MOD 2**): $C = \alpha + \beta \cdot H + \gamma/H + \varepsilon_i$

Modelo 3 (**MOD 3**): $C = \alpha + \beta \cdot H + \varepsilon_i$

onde:

C = custo, em R\$;

H = queda, em metros;

α , β , γ = parâmetros; e

ε_i = erro.

4.2.3.1. Caracterização dos modelos

Os modelos podem ser caracterizados segundo a função de cada parâmetro em combinação com a variável independente (H), a saber:

MOD 1 - Modelo de regressão não-linear com:

- assíntota horizontal ($H \rightarrow \infty$) = $\alpha + \gamma$;
- parâmetro de localização: α ;
- parâmetro de escala: γ ;
- parâmetro de forma: β .

MOD 2 - Modelo de regressão não-linear:

- quando $H \rightarrow 0$, o modelo se assemelha a uma hipérbole: $\alpha + \gamma/H$;
- quando $H \rightarrow \infty$, o modelo é caracterizado pela equação de reta: $\alpha + \beta.H$.

MOD 3 - Modelo de regressão linear com:

- coeficiente linear: α ;
- coeficiente angular: β .

4.2.3.2. Ajuste dos modelos de regressão

Os modelos de regressão apresentados serão ajustados pelo SAS (1985), utilizando-se dos procedimentos NLIN, para ajuste de modelos de regressão não-linear, e REG, para ajustes de modelos de regressão linear. Os gráficos serão apresentados no MICROSOFT EXCEL (1994).

5. RESULTADOS

Valendo-se dos procedimentos adotados no capítulo anterior, foram elaborados quadros, onde estão reunidos os elementos de dimensionamento para as diferentes partes que compõem o aproveitamento hidrelétrico, bem como o custo de implantação da micro central hidrelétrica, custo que é dado em função da potência instalada e da queda disponível.

Os elementos de dimensionamento da tomada de água são apresentados no Quadro 14, os do canal de adução estão indicados no Quadro 15, os da câmara de carga no Quadro 16, os do conduto forçado no Quadro 17, os da casa de máquinas no Quadro 18, os do canal de fuga no Quadro 19 e os da rede aérea de distribuição no Quadro 20.

Fundamentada nestes elementos de dimensionamento, foi realizada a composição que fornece a estimativa de custo para a implantação da micro central hidrelétrica, que pode ser vista no Quadro 21.

Quadro 14 - Elementos de dimensionamento da tomada de água

POTÊNCIA (kw)	QUEDA (m)	VAZÃO (l/s)	LARGURA (m)	ALTURA (m)	COMPRIMENTO CALCULADO (m)	COMPRIMENTO ADOTADO(m)	ESPESSURA CALCULADA (m)	ESPESSURA ADOTADA (m)	VOLUME (m3)
	5	147,06	0,50	0,43	2,21	2,21	0,04	0,10	0,71
	10	73,53	0,50	0,36	1,10	2,00	0,04	0,10	0,61
	15	49,02	0,50	0,33	0,74	2,00	0,03	0,10	0,59
5	20	36,76	0,50	0,31	0,55	2,00	0,03	0,10	0,58
	30	24,51	0,50	0,29	0,37	2,00	0,03	0,10	0,57
	40	18,38	0,50	0,28	0,28	2,00	0,03	0,10	0,56
	50	14,71	0,50	0,27	0,22	2,00	0,03	0,10	0,56
	60	12,25	0,50	0,26	0,18	2,00	0,03	0,10	0,55
	5	294,12	0,61	0,51	3,62	3,62	0,05	0,10	1,29
	10	147,06	0,50	0,43	2,21	2,10	0,04	0,10	0,68
	15	98,04	0,50	0,39	1,47	2,00	0,04	0,10	0,63
10	20	73,53	0,50	0,36	1,10	2,00	0,04	0,10	0,61
	30	49,02	0,50	0,33	0,74	2,00	0,03	0,10	0,59
	40	36,76	0,50	0,31	0,55	2,00	0,03	0,10	0,58
	50	29,41	0,50	0,30	0,44	2,00	0,03	0,10	0,58
	60	24,51	0,50	0,29	0,37	2,00	0,03	0,10	0,57
	5	441,18	0,71	0,56	4,66	5,42	0,06	0,10	2,06
	10	220,59	0,55	0,48	3,01	3,31	0,05	0,10	1,12
	15	147,06	0,50	0,43	2,21	2,21	0,04	0,10	0,71
15	20	110,29	0,50	0,40	1,65	2,00	0,04	0,10	0,63
	30	73,53	0,50	0,36	1,10	2,00	0,04	0,10	0,61
	40	55,15	0,50	0,34	0,83	2,00	0,03	0,10	0,60
	50	44,12	0,50	0,32	0,66	2,00	0,03	0,10	0,59
	60	36,76	0,50	0,31	0,55	2,00	0,03	0,10	0,58
	5	588,24	0,79	0,60	5,58	7,23	0,06	0,10	2,89
	10	294,12	0,61	0,51	3,62	4,41	0,05	0,10	1,55
	15	196,08	0,53	0,46	2,77	2,94	0,05	0,10	0,97
20	20	147,06	0,50	0,43	2,21	2,21	0,04	0,10	0,71
	30	98,04	0,50	0,39	1,47	2,00	0,04	0,10	0,63
	40	73,53	0,50	0,34	1,10	2,00	0,03	0,10	0,60
	50	58,82	0,50	0,34	0,88	2,00	0,03	0,10	0,60
	60	49,02	0,50	0,33	0,74	2,00	0,03	0,10	0,59
	5	882,35	0,92	0,66	7,19	13,24	0,07	0,10	5,69
	10	441,18	0,72	0,56	4,60	6,62	0,06	0,10	2,51
	15	294,12	0,61	0,51	3,62	4,41	0,05	0,10	1,55
30	20	220,59	0,55	0,48	3,01	3,31	0,05	0,10	1,12
	30	147,06	0,50	0,43	2,21	2,21	0,04	0,10	0,71
	40	110,29	0,50	0,40	1,65	2,00	0,04	0,10	0,63
	50	88,24	0,50	0,38	1,32	2,00	0,04	0,10	0,62
	60	73,53	0,50	0,34	1,10	2,00	0,03	0,10	0,60
	5	1470,59	1,12	0,76	9,85	18,08	0,08	0,10	8,76
	10	735,29	0,86	0,63	6,41	11,03	0,06	0,10	4,57
	15	490,20	0,74	0,57	4,97	7,35	0,06	0,10	2,82
50	20	367,65	0,67	0,53	4,12	5,51	0,05	0,10	2,01
	30	245,10	0,57	0,49	3,22	3,68	0,05	0,10	1,26
	40	183,82	0,50	0,46	2,76	2,76	0,05	0,10	0,90
	50	147,06	0,50	0,43	2,21	2,21	0,04	0,10	0,71
	60	122,55	0,50	0,41	1,84	2,00	0,04	0,10	0,64
	5	2205,88	1,30	0,87	12,73	27,12	0,09	0,10	14,55
	10	1102,94	1,01	0,70	8,19	16,54	0,07	0,10	7,48
	15	735,29	0,86	0,63	6,41	11,03	0,06	0,10	4,57
75	20	551,47	0,78	0,59	5,30	8,27	0,06	0,10	3,26
	30	367,65	0,67	0,53	4,12	5,51	0,05	0,10	2,01
	40	275,74	0,60	0,50	3,45	4,14	0,05	0,10	1,44
	50	220,59	0,55	0,48	3,01	3,31	0,05	0,10	1,12
	60	183,82	0,50	0,46	2,76	2,76	0,05	0,10	0,90
	5	2941,18	1,46	0,97	15,11	36,16	0,10	0,10	21,12
	10	1470,59	1,12	0,76	9,85	22,06	0,08	0,10	10,64
	15	980,39	0,96	0,68	7,66	14,71	0,07	0,10	6,48
100	20	735,29	0,86	0,63	6,41	11,03	0,06	0,10	4,57
	30	490,20	0,74	0,57	4,97	7,35	0,06	0,10	2,82
	40	367,65	0,67	0,53	4,12	5,51	0,05	0,10	2,01
	50	294,12	0,61	0,51	3,62	4,41	0,05	0,10	1,55
	60	245,10	0,57	0,49	3,22	3,68	0,05	0,10	1,26

Quadro 15 - Elementos de dimensionamento do canal de adução

POTÊNCIA (kW)	QUEDA (m)	VAZÃO (l/s)	VELOCIDADE ADOTADA (m/s)	ALTURA LÂMINA (1a. TENTATIVA) (m)	BASE MENOR (1a. TENTATIVA) (m)	BASE MENOR (ADOTADA) (m)	ALTURA LÂMINA (2a. TENTATIVA) (m)	ALTURA LÂMINA (ADOTADA) (m)	BASE MAIOR (m)	VELOCIDADE VERIFICADA (m/s)	FOLGA ADOTADA (m)	LARGURA REVEST. (m)	VOLUME UNITÁRIO (m³/ml)	COMPRIMENTO DO CANAL (m)	ÁREA REVEST. (m²)	VOLUME ESCAVAÇÃO (m³)
	5	147,06	0,86	0,24	0,48	0,50	0,23	0,23	0,97	0,87	0,20	1,11	0,47	30,00	33,38	14,13
	10	73,53	0,69	0,19	0,38	0,50	0,16	0,16	0,82	0,68	0,20	1,01	0,37	50,00	50,54	18,58
	15	49,02	0,60	0,17	0,33	0,50	0,13	0,13	0,76	0,59	0,20	0,97	0,33	78,00	75,37	25,86
5	20	36,76	0,54	0,15	0,30	0,50	0,11	0,11	0,72	0,53	0,20	0,94	0,31	138,00	129,76	42,65
	30	24,51	0,47	0,13	0,26	0,50	0,09	0,09	0,68	0,46	0,20	0,91	0,28	225,00	204,32	63,47
	40	18,38	0,41	0,12	0,24	0,50	0,08	0,08	0,66	0,42	0,20	0,89	0,27	297,00	265,09	80,02
	50	14,71	0,38	0,11	0,23	0,50	0,07	0,07	0,64	0,38	0,20	0,88	0,26	397,00	349,01	102,70
	60	12,25	0,35	0,11	0,22	0,50	0,06	0,06	0,62	0,36	0,20	0,87	0,25	477,00	415,40	120,29
	5	294,12	1,05	0,31	0,61	0,61	0,34	0,31	1,22	1,04	0,20	1,33	0,64	30,00	39,78	19,32
	10	147,06	0,86	0,24	0,48	0,50	0,23	0,23	0,97	0,87	0,20	1,11	0,47	50,00	55,63	23,55
	15	98,04	0,76	0,21	0,41	0,50	0,19	0,19	0,88	0,75	0,20	1,05	0,41	78,00	81,75	31,74
10	20	73,53	0,69	0,19	0,38	0,50	0,16	0,16	0,82	0,68	0,20	1,01	0,37	138,00	139,48	51,29
	30	49,02	0,60	0,17	0,33	0,50	0,13	0,13	0,76	0,59	0,20	0,97	0,33	225,00	217,41	74,60
	40	36,76	0,54	0,15	0,30	0,50	0,11	0,11	0,72	0,53	0,20	0,94	0,31	297,00	279,26	91,79
	50	29,41	0,49	0,14	0,28	0,50	0,10	0,10	0,70	0,50	0,20	0,92	0,30	397,00	366,93	117,31
	60	24,51	0,47	0,13	0,26	0,50	0,09	0,09	0,68	0,46	0,20	0,91	0,28	477,00	433,15	134,55
	5	441,18	1,16	0,36	0,71	0,71	0,42	0,36	1,42	1,16	0,20	1,50	0,80	30,00	44,95	23,85
	10	220,59	0,97	0,28	0,55	0,55	0,29	0,28	1,10	0,97	0,20	1,22	0,56	50,00	61,14	28,05
	15	147,06	0,86	0,24	0,48	0,50	0,23	0,23	0,97	0,87	0,20	1,11	0,47	78,00	86,78	36,74
15	20	110,29	0,79	0,22	0,43	0,50	0,20	0,20	0,90	0,79	0,20	1,06	0,42	138,00	146,97	58,42
	30	73,53	0,69	0,19	0,38	0,50	0,16	0,16	0,82	0,68	0,20	1,01	0,37	225,00	227,41	83,63
	40	55,15	0,62	0,17	0,34	0,50	0,14	0,14	0,78	0,62	0,20	0,98	0,34	297,00	290,93	101,99
	50	44,12	0,57	0,16	0,32	0,50	0,12	0,12	0,75	0,57	0,20	0,96	0,32	397,00	380,40	128,83
	60	36,76	0,54	0,15	0,30	0,50	0,11	0,11	0,72	0,53	0,20	0,94	0,31	477,00	448,51	147,41
	5	588,24	1,25	0,40	0,79	0,79	0,48	0,40	1,58	1,24	0,20	1,63	0,93	30,00	49,05	27,77
	10	294,12	1,04	0,31	0,61	0,61	0,34	0,31	1,23	1,05	0,20	1,33	0,65	50,00	66,55	32,41
	15	196,08	0,94	0,26	0,53	0,53	0,27	0,26	1,05	0,95	0,20	1,18	0,53	78,00	92,28	41,38
20	20	147,06	0,86	0,24	0,48	0,50	0,23	0,23	0,97	0,87	0,20	1,11	0,47	138,00	153,53	65,00
	30	98,04	0,76	0,21	0,41	0,50	0,19	0,19	0,88	0,75	0,20	1,05	0,41	225,00	235,82	91,56
	40	73,53	0,62	0,20	0,40	0,50	0,18	0,14	0,78	0,62	0,20	0,98	0,34	297,00	290,93	101,99
	50	58,82	0,64	0,18	0,35	0,50	0,14	0,14	0,79	0,63	0,20	0,98	0,35	397,00	391,02	138,23
	60	49,02	0,60	0,17	0,33	0,50	0,13	0,13	0,76	0,59	0,20	0,97	0,33	477,00	460,90	158,16

Quadro 15 - Elementos de dimensionamento do canal de adução

(continuação)

POTÊNCIA (kW)	QUEDA (m)	VAZÃO (l/s)	VELOCIDADE ADOTADA (m/s)	ALTURA LÂMINA (1a.TENTATIVA) (m)	BASE MENOR (1a. TENTATIVA) (m)	BASE MENOR (ADOTADA) (m)	ALTURA LÂMINA (2a. TENTATIVA) (m)	ALTURA LÂMINA (ADOTADA) (m)	BASE MAIOR (m)	VELOCIDADE VERIFICADA (m/s)	FOLGA ADOTADA (m)	LARGURA REVEST. (m)	VOLUME UNITÁRIO (m³/m)	COMPRIMENTO DO CANAL (m)	ÁREA REVEST. (m²)	VOLUME ESCAVAÇÃO (m³)
	5	882,35	1,38	0,46	0,92	0,92	0,59	0,46	1,85	1,37	0,20	1,86	1,16	30,00	55,77	34,81
	10	441,18	1,15	0,36	0,72	0,72	0,42	0,36	1,43	1,16	0,20	1,50	0,80	50,00	75,18	40,00
	15	294,12	1,04	0,31	0,61	0,61	0,34	0,31	1,23	1,05	0,20	1,33	0,65	78,00	103,82	50,57
30	20	220,59	0,97	0,28	0,55	0,55	0,29	0,28	1,10	0,97	0,20	1,22	0,56	138,00	168,74	77,42
	30	147,06	0,86	0,24	0,48	0,50	0,23	0,23	0,97	0,87	0,20	1,11	0,47	225,00	250,33	105,98
	40	110,29	0,79	0,22	0,43	0,50	0,20	0,20	0,90	0,79	0,20	1,06	0,42	297,00	316,30	125,73
	50	88,24	0,72	0,20	0,40	0,50	0,18	0,18	0,86	0,73	0,20	1,04	0,40	397,00	411,91	157,56
	60	73,53	0,62	0,20	0,40	0,50	0,18	0,14	0,78	0,62	0,20	0,98	0,34	477,00	467,26	163,80
	5	1470,59	1,57	0,56	1,12	1,12	0,75	0,56	2,24	1,56	0,20	2,19	1,56	30,00	65,71	46,65
	10	735,29	1,32	0,43	0,86	0,86	0,54	0,43	1,72	1,31	0,20	1,75	1,05	50,00	87,70	52,35
	15	490,20	1,18	0,37	0,74	0,74	0,44	0,37	1,49	1,19	0,20	1,55	0,85	78,00	121,15	66,01
50	20	367,65	1,10	0,33	0,67	0,67	0,38	0,33	1,34	1,11	0,20	1,42	0,73	138,00	196,28	100,27
	30	245,10	1,00	0,29	0,57	0,57	0,30	0,29	1,14	1,00	0,20	1,26	0,59	225,00	283,19	132,59
	40	183,82	0,93	0,26	0,51	0,50	0,26	0,26	1,02	0,94	0,20	1,15	0,51	297,00	341,71	151,68
	50	147,06	0,86	0,24	0,48	0,50	0,23	0,23	0,97	0,87	0,20	1,11	0,47	397,00	441,69	187,00
	60	122,55	0,81	0,22	0,45	0,50	0,21	0,21	0,92	0,82	0,20	1,08	0,44	477,00	516,64	210,47
	5	2205,88	1,73	0,65	1,30	1,30	0,91	0,65	2,61	1,73	0,22	2,53	2,04	30,00	75,99	61,23
	10	1102,94	1,45	0,50	1,01	1,01	0,66	0,50	2,01	1,46	0,20	2,00	1,32	50,00	100,09	66,18
	15	735,29	1,32	0,43	0,86	0,86	0,54	0,43	1,72	1,31	0,20	1,75	1,05	78,00	136,81	81,67
75	20	551,47	1,22	0,39	0,78	0,78	0,47	0,39	1,55	1,22	0,20	1,61	0,90	138,00	221,91	124,07
	30	367,65	1,10	0,33	0,67	0,67	0,38	0,33	1,34	1,11	0,20	1,42	0,73	225,00	320,02	163,48
	40	275,74	1,02	0,30	0,60	0,60	0,33	0,30	1,20	1,03	0,20	1,31	0,63	297,00	388,36	186,79
	50	220,59	0,97	0,28	0,55	0,55	0,29	0,28	1,10	0,97	0,20	1,22	0,56	397,00	485,43	222,73
	60	183,82	0,93	0,26	0,51	0,50	0,26	0,26	1,02	0,94	0,20	1,15	0,51	477,00	548,80	243,61
	5	2941,18	1,85	0,73	1,46	1,46	1,04	0,73	2,91	1,86	0,24	2,83	2,53	30,00	84,85	75,75
	10	1470,59	1,57	0,56	1,12	1,12	0,75	0,56	2,24	1,56	0,20	2,19	1,56	50,00	109,52	77,76
	15	980,39	1,42	0,48	0,96	0,96	0,62	0,48	1,92	1,41	0,20	1,92	1,23	78,00	149,81	95,90
100	20	735,29	1,32	0,43	0,86	0,86	0,54	0,43	1,72	1,31	0,20	1,75	1,05	138,00	242,04	144,49
	30	490,20	1,18	0,37	0,74	0,74	0,44	0,37	1,49	1,19	0,20	1,55	0,85	225,00	349,47	190,42
	40	367,65	1,10	0,33	0,67	0,67	0,38	0,33	1,34	1,11	0,20	1,42	0,73	297,00	422,43	215,80
	50	294,12	1,04	0,31	0,61	0,61	0,34	0,31	1,23	1,05	0,20	1,33	0,65	397,00	528,41	257,37
	60	245,10	1,00	0,29	0,57	0,57	0,30	0,29	1,14	1,00	0,20	1,26	0,59	477,00	600,37	281,09

Quadro 16 - Elementos de dimensionamento da câmara de carga

POTÊNCIA (kw)	QUEDA (m)	VAZÃO (l/s)	VELOCIDADE (m/s)	LARGURA (m)	ALTURA DO CANAL (m)	ALTURA DA GRADE (m)	COMPRI-MENTO (m)	ESPESSURA CALCULADA (m)	ESPESSURA ADOTADA (m)	VOLUME (m³)
	5	147,06	0,87	0,50	0,43	0,51	3,48	0,04	0,10	1,34
	10	73,53	0,68	0,50	0,36	0,32	2,99	0,03	0,10	0,96
	15	49,02	0,59	0,50	0,33	0,25	2,79	0,03	0,10	0,82
5	20	36,76	0,53	0,50	0,31	0,21	2,68	0,02	0,10	0,74
	30	24,51	0,46	0,50	0,29	0,16	2,54	0,02	0,10	0,66
	40	18,38	0,42	0,50	0,28	0,13	2,47	0,02	0,10	0,62
	50	14,71	0,38	0,50	0,27	0,12	2,43	0,02	0,10	0,59
	60	12,25	0,36	0,50	0,26	0,10	2,39	0,01	0,10	0,56
	5	294,12	1,04	0,61	0,51	0,70	3,99	0,05	0,10	1,94
	10	147,06	0,87	0,50	0,43	0,51	3,48	0,04	0,10	1,34
	15	98,04	0,75	0,50	0,39	0,39	3,18	0,04	0,10	1,10
10	20	73,53	0,68	0,50	0,36	0,32	2,99	0,03	0,10	0,96
	30	49,02	0,59	0,50	0,33	0,25	2,79	0,03	0,10	0,82
	40	36,76	0,53	0,50	0,31	0,21	2,68	0,02	0,10	0,74
	50	29,41	0,50	0,50	0,30	0,18	2,59	0,02	0,10	0,69
	60	24,51	0,46	0,50	0,29	0,16	2,54	0,01	0,10	0,66
	5	441,18	1,16	0,71	0,56	0,80	4,29	0,06	0,10	2,38
	10	220,59	0,97	0,55	0,48	0,62	3,79	0,05	0,10	1,67
	15	147,06	0,87	0,50	0,43	0,51	3,48	0,04	0,10	1,34
15	20	110,29	0,79	0,50	0,40	0,42	3,25	0,04	0,10	1,15
	30	73,53	0,68	0,50	0,36	0,32	2,99	0,03	0,10	0,96
	40	55,15	0,62	0,50	0,34	0,27	2,84	0,03	0,10	0,85
	50	44,12	0,57	0,50	0,32	0,23	2,74	0,03	0,10	0,78
	60	36,76	0,53	0,50	0,31	0,21	2,68	0,02	0,10	0,74
	5	882,35	1,37	0,92	0,66	1,05	4,96	0,07	0,10	3,51
	10	441,18	1,16	0,72	0,56	0,79	4,26	0,06	0,10	2,37
	15	294,12	1,05	0,61	0,51	0,69	3,98	0,06	0,10	1,92
30	20	220,59	0,97	0,55	0,48	0,62	3,79	0,05	0,10	1,67
	30	147,06	0,87	0,50	0,43	0,51	3,48	0,04	0,10	1,34
	40	110,29	0,79	0,50	0,40	0,42	3,25	0,04	0,10	1,15
	50	88,24	0,73	0,50	0,38	0,36	3,10	0,04	0,10	1,04
	60	73,53	0,62	0,50	0,34	0,36	3,06	0,02	0,10	0,96
	5	1470,59	1,56	1,12	0,76	1,26	5,54	0,09	0,10	4,73
	10	735,29	1,31	0,86	0,63	0,98	4,76	0,07	0,10	3,16
	15	490,20	1,19	0,74	0,57	0,83	4,37	0,07	0,10	2,51
50	20	367,65	1,11	0,67	0,53	0,74	4,12	0,06	0,10	2,14
	30	245,10	1,00	0,57	0,49	0,64	3,86	0,05	0,10	1,76
	40	183,82	0,94	0,50	0,46	0,59	3,70	0,05	0,10	1,52
	50	147,06	0,87	0,50	0,43	0,51	3,48	0,04	0,10	1,34
	60	122,55	0,82	0,50	0,41	0,45	3,33	0,02	0,10	1,21
	5	2205,88	1,73	1,30	0,87	1,47	6,11	0,10	0,10	6,12
	10	1102,94	1,46	1,01	0,70	1,12	5,15	0,08	0,10	3,96
	15	735,29	1,31	0,86	0,63	0,98	4,76	0,07	0,10	3,16
75	20	551,47	1,22	0,78	0,59	0,87	4,47	0,07	0,10	2,69
	30	367,65	1,11	0,67	0,53	0,74	4,12	0,06	0,10	2,14
	40	275,74	1,03	0,60	0,50	0,67	3,92	0,06	0,10	1,85
	50	220,59	0,97	0,55	0,48	0,62	3,79	0,05	0,10	1,67
	60	183,82	0,94	0,50	0,46	0,59	3,70	0,02	0,10	1,52
	5	588,24	1,58	0,79	0,60	0,71	4,07	0,06	0,10	2,37
	10	294,12	1,23	0,61	0,51	0,59	3,73	0,05	0,10	1,74
	15	196,08	1,05	0,53	0,46	0,53	3,55	0,05	0,10	1,46
20	20	147,06	0,97	0,50	0,43	0,45	3,35	0,04	0,10	1,26
	30	98,04	0,88	0,50	0,39	0,33	3,03	0,03	0,10	1,02
	40	73,53	0,78	0,50	0,34	0,28	2,88	0,03	0,10	0,87
	50	58,82	0,79	0,50	0,34	0,22	2,73	0,03	0,10	0,80
	60	49,02	0,76	0,50	0,33	0,19	2,65	0,02	0,10	0,75
	5	2941,18	1,86	1,46	0,97	1,62	6,55	0,11	0,11	7,38
	10	1470,59	1,56	1,12	0,76	1,26	5,54	0,09	0,10	4,73
	15	980,39	1,41	0,96	0,68	1,09	5,06	0,08	0,10	3,72
100	20	735,29	1,31	0,86	0,63	0,98	4,76	0,07	0,10	3,16
	30	490,20	1,19	0,74	0,57	0,83	4,37	0,07	0,10	2,51
	40	367,65	1,11	0,67	0,53	0,74	4,12	0,06	0,10	2,14
	50	294,12	1,05	0,61	0,51	0,69	3,98	0,06	0,10	1,92
	60	245,10	1,00	0,57	0,49	0,64	3,86	0,02	0,10	1,76

Quadro 17 - Elementos de dimensionamento do conduto forçado

POTÊNCIA (kW)	QUEDA (m)	VAZÃO (l/s)	COMPRIMENTO (m)	DIÂMETRO CALCULADO (mm)	DIÂMETRO ADOTADO (mm)	VELOCIDADE (m/s)	ESPESURA CALCULADA (mm)	ESPESURA MÍNIMA (mm)	ESPESURA ADOTADA (mm)	MASSA UNITÁRIA (kg/m)	MASSA TOTAL (kg)	QUANTIDADE DE APOIOS	VOL. UNITÁRIO APOIOS (m³)	VOLUME TOTAL APOIOS (m³)	QUANTIDADE DE ANCORAGENS	VOL. UNITÁRIO ANCORAGENS (m³)	VOL. TOTAL ANCORAGENS (m³)
	5	147,06	10,00	289	300	2,08	0,09	4,76	5,70	43,00	430,00	2	0,0200	0,04	1	0,62	0,62
	10	73,53	12,00	199	200	2,34	0,12	4,76	5,40	27,00	324,00	3	0,0059	0,02	1	0,18	0,18
	15	49,02	15,00	164	150	2,77	0,14	4,76	5,20	20,00	300,00	5	0,0025	0,01	1	0,08	0,08
5	20	36,76	35,00	164	150	2,08	0,18	4,76	5,20	20,00	700,00	12	0,0025	0,03	1	0,08	0,08
	30	24,51	55,00	142	150	1,39	0,27	4,76	5,20	20,00	1100,00	18	0,0025	0,05	1	0,08	0,08
	40	18,38	60,00	122	100	2,34	0,24	4,76	5,00	13,00	780,00	24	0,0007	0,02	1	0,02	0,02
	50	14,71	65,00	108	100	1,87	0,30	4,76	5,00	13,00	845,00	26	0,0007	0,02	1	0,02	0,02
	60	12,25	65,00	97	100	1,56	0,36	4,76	5,00	13,00	845,00	26	0,0007	0,02	1	0,02	0,02
	5	294,12	10,00	378	400	2,34	0,12	4,76	6,30	63,00	630,00	2	0,0475	0,09	1	1,46	1,46
	10	147,06	12,00	261	250	3,00	0,15	4,76	5,50	35,00	420,00	3	0,0116	0,03	1	0,36	0,36
	15	98,04	15,00	214	200	3,12	0,18	4,76	5,40	27,00	405,00	4	0,0059	0,02	1	0,18	0,18
10	20	73,53	35,00	215	200	2,34	0,24	4,76	5,40	27,00	945,00	10	0,0059	0,06	1	0,18	0,18
	30	49,02	55,00	185	200	1,56	0,36	4,76	5,40	27,00	1485,00	18	0,0059	0,11	1	0,18	0,18
	40	36,76	60,00	159	150	2,08	0,36	4,76	5,20	20,00	1200,00	20	0,0025	0,05	1	0,08	0,08
	50	29,41	65,00	142	150	1,66	0,45	4,76	5,20	20,00	1300,00	22	0,0025	0,06	1	0,08	0,08
	60	24,51	65,00	127	100	3,12	0,36	4,76	5,00	13,00	845,00	26	0,0007	0,02	1	0,02	0,02
	5	441,18	10,00	443	400	3,51	0,12	4,76	6,30	63,00	630,00	2	0,0475	0,09	1	1,46	1,46
	10	220,59	12,00	305	300	3,12	0,18	4,76	5,70	43,00	516,00	3	0,0200	0,06	1	0,62	0,62
	15	147,06	15,00	251	250	3,00	0,23	4,76	5,50	35,00	525,00	4	0,0116	0,05	1	0,36	0,36
15	20	110,29	35,00	252	250	2,25	0,30	4,76	5,50	35,00	1225,00	9	0,0116	0,10	1	0,36	0,36
	30	73,53	55,00	217	200	2,34	0,36	4,76	5,40	27,00	1485,00	16	0,0059	0,09	1	0,18	0,18
	40	55,15	60,00	186	200	1,76	0,48	4,76	5,40	27,00	1620,00	17	0,0059	0,10	1	0,18	0,18
	50	44,12	65,00	166	150	2,50	0,45	4,76	5,20	20,00	1300,00	22	0,0025	0,06	1	0,08	0,08
	60	36,76	65,00	149	150	2,08	0,54	4,76	5,20	20,00	1300,00	22	0,0025	0,06	1	0,08	0,08
	5	588,24	10,00	495	500	3,00	0,15	4,76	7,00	87,00	870,00	2	0,0927	0,19	1	2,85	2,85
	10	294,12	12,00	341	350	3,06	0,21	4,76	5,90	52,00	624,00	3	0,0318	0,10	1	0,98	0,98
	15	196,08	15,00	281	300	2,77	0,27	4,76	5,70	43,00	645,00	4	0,0200	0,08	1	0,62	0,62
20	20	147,06	35,00	281	300	2,08	0,36	4,76	5,70	43,00	1505,00	8	0,0200	0,16	1	0,62	0,62
	30	98,04	55,00	243	250	2,00	0,45	4,76	5,50	35,00	1925,00	14	0,0116	0,16	1	0,36	0,36
	40	73,53	60,00	208	200	2,34	0,48	4,76	5,40	27,00	1620,00	17	0,0059	0,10	1	0,18	0,18
	50	58,82	65,00	186	200	1,87	0,60	4,76	5,40	27,00	1755,00	22	0,0059	0,13	1	0,18	0,18
	60	49,02	65,00	167	150	2,77	0,54	4,76	5,20	20,00	1300,00	22	0,0025	0,06	1	0,08	0,08

Quadro 17 - Elementos de dimensionamento do conduto forçado

(continuação)

POTÊNCIA (kW)	QUEDA (m)	VAZÃO (l/s)	COMPRIMENTO (m)	DIÂMETRO CALCULADO (mm)	DIÂMETRO ADOTADO (mm)	VELOCIDADE (m/s)	ESPESSURA CALCULADA (mm)	ESPESSURA MÍNIMA (mm)	ESPESSURA ADOTADA (mm)	MASSA UNITÁRIA (kg/m)	MASSA TOTAL (kg)	QUANTIDADE DE APOIOS	VOL. UNITÁRIO APOIOS (m³)	VOLUME TOTAL APOIOS (m³)	QUANTIDADE DE ANCORAGENS	VOL. UNITÁRIO ANCORAGENS (m³)	VOL. TOTAL ANCORAGENS (m³)
	5	882,35	10,00	580	600	3,12	0,18	4,76	7,70	114,00	1140,00	2	0,1602	0,32	1	4,93	4,93
	10	441,18	12,00	399	400	3,51	0,24	4,76	6,30	63,00	756,00	3	0,0475	0,14	1	1,46	1,46
	15	294,12	15,00	329	350	3,06	0,32	4,76	5,90	52,00	780,00	3	0,0318	0,10	1	0,98	0,98
30	20	220,59	35,00	329	350	2,29	0,42	4,76	5,90	52,00	1820,00	8	0,0318	0,25	1	0,98	0,98
	30	147,06	55,00	284	300	2,08	0,54	4,76	5,70	43,00	2365,00	13	0,0200	0,26	1	0,62	0,62
	40	110,29	60,00	244	250	2,25	0,60	4,76	5,50	35,00	2100,00	15	0,0116	0,17	1	0,36	0,36
	50	88,24	65,00	217	200	2,81	0,60	4,76	5,40	27,00	1755,00	19	0,0059	0,11	1	0,18	0,18
	60	73,53	65,00	195	200	2,34	0,72	4,76	5,40	27,00	1755,00	19	0,0059	0,11	1	0,18	0,18
	5	1470,59	10,00	707	700	3,82	0,21	4,76	8,40	145,00	1450,00	2	0,2543	0,51	1	7,83	7,83
	10	735,29	12,00	487	500	3,74	0,30	4,76	7,00	87,00	1044,00	2	0,0927	0,19	1	2,85	2,85
	15	490,20	15,00	401	400	3,90	0,36	4,76	6,30	63,00	945,00	3	0,0475	0,14	1	1,46	1,46
50	20	367,65	35,00	402	400	2,93	0,48	4,76	6,30	63,00	2205,00	7	0,0475	0,33	1	1,46	1,46
	30	245,10	55,00	346	350	2,55	0,63	4,76	5,90	52,00	2860,00	12	0,0318	0,38	1	0,98	0,98
	40	183,82	60,00	297	300	2,60	0,72	4,76	5,70	43,00	2580,00	14	0,0200	0,28	1	0,62	0,62
	50	147,06	65,00	265	250	3,00	0,75	4,76	5,50	35,00	2275,00	17	0,0116	0,20	1	0,36	0,36
	60	122,55	65,00	238	250	2,50	0,90	4,76	5,50	35,00	2275,00	17	0,0116	0,20	1	0,36	0,36
	5	2205,88	10,00	827	800	4,39	0,24	4,76	9,10	179,00	1790,00	2	0,3796	0,76	1	11,68	11,68
	10	1102,94	12,00	569	600	3,90	0,36	4,76	7,70	114,00	1368,00	2	0,1602	0,32	1	4,93	4,93
	15	735,29	15,00	469	500	3,74	0,45	4,76	7,00	87,00	1305,00	3	0,0927	0,28	1	2,85	2,85
75	20	551,47	35,00	470	500	2,81	0,60	4,76	7,00	87,00	3045,00	7	0,0927	0,65	1	2,85	2,85
	30	367,65	55,00	405	400	2,93	0,72	4,76	6,30	63,00	3465,00	11	0,0475	0,52	1	1,46	1,46
	40	275,74	60,00	348	350	2,87	0,84	4,76	5,90	52,00	3120,00	13	0,0318	0,41	1	0,98	0,98
	50	220,59	65,00	310	300	3,12	0,90	4,76	5,70	43,00	2795,00	15	0,0200	0,30	1	0,62	0,62
	60	183,82	65,00	278	300	2,60	1,08	4,76	5,70	43,00	2795,00	15	0,0200	0,30	1	0,62	0,62
	5	2941,18	10,00	925	900	4,62	0,27	4,76	9,80	217,00	2170,00	1	0,5406	0,54	1	16,64	16,64
	10	1470,59	12,00	637	700	3,82	0,42	4,76	8,40	145,00	1740,00	2	0,2543	0,51	1	7,83	7,83
	15	980,39	15,00	524	500	4,99	0,45	4,76	7,00	87,00	1305,00	3	0,0927	0,28	1	2,85	2,85
100	20	735,29	35,00	525	500	3,74	0,60	4,76	7,00	87,00	3045,00	7	0,0927	0,65	1	2,85	2,85
	30	490,20	55,00	453	500	2,50	0,90	4,76	7,00	87,00	4785,00	10	0,0927	0,93	1	2,85	2,85
	40	367,65	60,00	389	400	2,93	0,96	4,76	6,30	63,00	3780,00	13	0,0475	0,62	1	1,46	1,46
	50	294,12	65,00	347	350	3,06	1,05	4,76	5,90	52,00	3380,00	14	0,0318	0,45	1	0,98	0,98
	60	245,10	65,00	311	300	3,47	1,08	4,76	5,70	43,00	2795,00	15	0,0200	0,30	1	0,62	0,62

Quadro 18 - Elementos de dimensionamento da casa de máquinas

POTENCIA (kW)	QUEDA (m)	VAZÃO (l/s)	DIÂMETRO ROTOR CALCULADO (m)	DIÂMETRO ROTOR ADOTADO (m)	COMPRIMENTO CASA MÁQUINAS (m)	LARGURA CASA MÁQUINAS (m)	ÁREA CASA MÁQUINAS (m ²)	POTENCIA (kW)	QUEDA (m)	VAZÃO (l/s)	DIÂMETRO ROTOR CALCULADO (m)	DIÂMETRO ROTOR ADOTADO (m)	COMPRIMENTO CASA MÁQUINAS (m)	LARGURA CASA MÁQUINAS (m)	ÁREA CASA MÁQUINAS (m ²)
	5	147,06	0,34	0,35	5,18	5,89	30,48		5	882,35	0,54	0,60	6,75	6,74	45,50
	10	73,53	0,21	0,25	4,55	5,55	25,22		10	441,18	0,37	0,40	5,49	6,06	33,27
	15	49,02	0,16	0,20	4,23	5,38	22,76		15	294,12	0,29	0,30	4,86	5,72	27,80
5	20	36,76	0,13	0,14	3,82	5,16	19,71	30	20	220,59	0,25	0,25	4,55	5,55	25,22
	30	24,51	0,11	0,12	3,73	5,11	19,03		30	147,06	0,21	0,25	4,55	5,55	25,22
	40	18,38	0,09	0,12	3,73	5,11	19,03		40	110,29	0,18	0,20	4,23	5,38	22,76
	50	14,71	0,08	0,08	3,47	4,97	17,27		50	88,24	0,17	0,20	4,23	5,38	22,76
	60	12,25	0,07	0,08	3,47	4,97	17,27		60	73,53	0,15	0,20	4,23	5,38	22,76
	5	294,12	0,40	0,40	5,49	6,06	33,27		5	1470,59	0,64	0,70	7,38	7,08	52,25
	10	147,06	0,25	0,25	4,55	5,55	25,22		10	735,29	0,44	0,45	5,81	6,23	36,17
	15	98,04	0,20	0,20	4,23	5,38	22,76		15	490,20	0,36	0,40	5,49	6,06	33,27
10	20	73,53	0,17	0,20	4,23	5,38	22,76	50	20	367,65	0,31	0,35	5,18	5,89	30,48
	30	49,02	0,13	0,14	3,82	5,16	19,71		30	245,10	0,26	0,30	4,86	5,72	27,80
	40	36,76	0,12	0,12	3,73	5,11	19,03		40	183,82	0,23	0,25	4,55	5,55	25,22
	50	29,41	0,10	0,12	3,73	5,11	19,03		50	147,06	0,21	0,25	4,55	5,55	25,22
	60	24,51	0,10	0,12	3,73	5,11	19,03		60	122,55	0,19	0,20	4,23	5,38	22,76
	5	441,18	0,44	0,45	5,81	6,23	36,17		5	2205,88	0,74	0,80	8,01	7,42	59,43
	10	220,59	0,29	0,30	4,86	5,72	27,80		10	1102,94	0,52	0,60	6,75	6,74	45,50
	15	147,06	0,23	0,25	4,55	5,55	25,22		15	735,29	0,43	0,45	5,81	6,23	36,17
15	20	110,29	0,19	0,20	4,23	5,38	22,76	75	20	551,47	0,37	0,40	5,49	6,06	33,27
	30	73,53	0,16	0,20	4,23	5,38	22,76		30	367,65	0,31	0,35	5,18	5,89	30,48
	40	55,15	0,14	0,14	3,82	5,16	19,71		40	275,74	0,27	0,30	4,86	5,72	27,80
	50	44,12	0,12	0,12	3,73	5,11	19,03		50	220,59	0,25	0,25	4,55	5,55	25,22
	60	36,76	0,11	0,12	3,73	5,11	19,03		60	183,82	0,23	0,25	4,55	5,55	25,22
	5	588,24	0,48	0,50	6,12	6,40	39,17		5	2941,18	0,83	0,90	8,64	7,76	67,05
	10	294,12	0,32	0,35	5,18	5,89	30,48		10	1470,59	0,59	0,60	6,75	6,74	45,50
	15	196,08	0,25	0,25	4,55	5,55	25,22		15	980,39	0,48	0,50	6,12	6,40	39,17
20	20	147,06	0,22	0,25	4,55	5,55	25,22	100	20	735,29	0,42	0,45	5,81	6,23	36,17
	30	98,04	0,18	0,20	4,23	5,38	22,76		30	490,20	0,35	0,35	5,18	5,89	30,48
	40	73,53	0,15	0,20	4,23	5,38	22,76		40	367,65	0,31	0,35	5,18	5,89	30,48
	50	58,82	0,14	0,14	3,82	5,16	19,71		50	294,12	0,29	0,30	4,86	5,72	27,80
	60	49,02	0,13	0,14	3,82	5,16	19,71		60	245,10	0,26	0,30	4,86	5,72	27,80

Quadro 19 - Elementos de dimensionamento do canal de fuga

BASE MENOR (m)	ALTURA (m)	BASE MAIOR (m)	LARGURA REVEST. (m)	VOLUME UNITÁRIO (m³/ml)	COMPRIMENTO DO CANAL (m)	ÁREA REVEST. (m²)	VOL. ESCAVAÇÃO (m³)	POTÊNCIA (kW)	QUEDA (m)	BASE MENOR (m)	ALTURA (m)	BASE MAIOR (m)	LARGURA REVEST. (m)	VOLUME UNITÁRIO (m³/ml)	COMPRIMENTO DO CANAL (m)	ÁREA REVEST. (m²)	VOL. ESCAVAÇÃO (m³)
0,50	0,43	1,37	1,11	0,47	10,00	11,13	4,71										
0,50	0,36	1,22	1,01	0,37	10,00	10,11	3,72		5	0,92	0,66	2,25	1,86	1,16	10,00	18,59	11,60
0,50	0,33	1,16	0,97	0,33	10,00	9,66	3,32		10	0,72	0,56	1,83	1,50	0,80	10,00	15,04	8,00
0,50	0,31	1,12	0,94	0,31	10,00	9,40	3,09		15	0,61	0,51	1,63	1,33	0,65	10,00	13,31	6,48
0,50	0,29	1,08	0,91	0,28	10,00	9,08	2,82	30	20	0,55	0,48	1,50	1,22	0,56	10,00	12,23	5,61
0,50	0,28	1,06	0,89	0,27	10,00	8,93	2,69		30	0,50	0,43	1,37	1,11	0,47	10,00	11,13	4,71
0,50	0,27	1,04	0,88	0,26	10,00	8,79	2,59		40	0,50	0,40	1,30	1,06	0,42	10,00	10,65	4,23
0,50	0,26	1,02	0,87	0,25	10,00	8,71	2,52		50	0,50	0,38	1,26	1,04	0,40	10,00	10,38	3,97
0,61	0,51	1,62	1,33	0,64	10,00	13,26	6,44		60	0,50	0,34	1,18	0,98	0,34	10,00	9,80	3,43
0,50	0,43	1,37	1,11	0,47	10,00	11,13	4,71		5	1,12	0,76	2,64	2,19	1,56	10,00	21,90	15,55
0,50	0,39	1,28	1,05	0,41	10,00	10,48	4,07		10	0,86	0,63	2,12	1,75	1,05	10,00	17,54	10,47
0,50	0,36	1,22	1,01	0,37	10,00	10,11	3,72		15	0,74	0,57	1,89	1,55	0,85	10,00	15,53	8,46
0,50	0,33	1,16	0,97	0,33	10,00	9,66	3,32	50	20	0,67	0,53	1,74	1,42	0,73	10,00	14,22	7,27
0,50	0,31	1,12	0,94	0,31	10,00	9,40	3,09		30	0,57	0,49	1,54	1,26	0,59	10,00	12,59	5,89
0,50	0,30	1,10	0,92	0,30	10,00	9,24	2,95		40	0,50	0,46	1,42	1,15	0,51	10,00	11,51	5,11
0,50	0,29	1,08	0,91	0,28	10,00	9,08	2,82		50	0,50	0,43	1,37	1,11	0,47	10,00	11,13	4,71
0,71	0,56	1,82	1,50	0,80	10,00	14,98	7,95		60	0,50	0,41	1,32	1,08	0,44	10,00	10,83	4,41
0,55	0,48	1,50	1,22	0,56	10,00	12,23	5,61		5	1,30	0,87	3,04	2,53	2,04	10,00	25,33	20,41
0,50	0,43	1,37	1,11	0,47	10,00	11,13	4,71		10	1,01	0,70	2,41	2,00	1,32	10,00	20,02	13,24
0,50	0,40	1,30	1,06	0,42	10,00	10,65	4,23		15	0,86	0,63	2,12	1,75	1,05	10,00	17,54	10,47
0,50	0,36	1,22	1,01	0,37	10,00	10,11	3,72	75	20	0,78	0,59	1,95	1,61	0,90	10,00	16,08	8,99
0,50	0,34	1,18	0,98	0,34	10,00	9,80	3,43		30	0,67	0,53	1,74	1,42	0,73	10,00	14,22	7,27
0,50	0,32	1,15	0,96	0,32	10,00	9,58	3,25		40	0,60	0,50	1,60	1,31	0,63	10,00	13,08	6,29
0,50	0,31	1,12	0,94	0,31	10,00	9,40	3,09		50	0,55	0,48	1,50	1,22	0,56	10,00	12,23	5,61
0,79	0,60	1,98	1,63	0,93	10,00	16,35	9,26		60	0,50	0,46	1,42	1,15	0,51	10,00	11,51	5,11
0,61	0,51	1,63	1,33	0,65	10,00	13,31	6,48		5	1,46	0,97	3,40	2,83	2,53	10,00	28,28	25,25
0,53	0,46	1,45	1,18	0,53	10,00	11,83	5,31		10	1,12	0,76	2,64	2,19	1,56	10,00	21,90	15,55
0,50	0,43	1,37	1,11	0,47	10,00	11,13	4,71		15	0,96	0,68	2,32	1,92	1,23	10,00	19,21	12,29
0,50	0,39	1,28	1,05	0,41	10,00	10,48	4,07	100	20	0,86	0,63	2,12	1,75	1,05	10,00	17,54	10,47
0,50	0,34	1,18	0,98	0,34	10,00	9,80	3,43		30	0,74	0,57	1,89	1,55	0,85	10,00	15,53	8,46
0,50	0,34	1,19	0,98	0,35	10,00	9,85	3,48		40	0,67	0,53	1,74	1,42	0,73	10,00	14,22	7,27
0,50	0,33	1,16	0,97	0,33	10,00	9,66	3,32		50	0,61	0,51	1,63	1,33	0,65	10,00	13,31	6,48
									60	0,57	0,49	1,54	1,26	0,59	10,00	12,59	5,89

Quadro 20 - Elementos de dimensionamento da rede aérea de distribuição

POTÊNCIA (kVA)	DIÂMETRO DO ELETRODUTO (POL)	RAMAL DE SAÍDA (CONDUTOR DE COBRE ISOLADO)	RAMAL AÉREO DE DISTRIBUIÇÃO (CONDUTOR DE ALUMÍNIO)	TIPO DE PROTEÇÃO	CORRENTE NO DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO (A)
5	3/4	3F X #2,5 + 1N X 2,5	3F X #4,0 + 1N X #4,0	Disjuntor	10
10	3/4	3F X #2,5 + 1N X 2,5	3F X #2,0 + 1N X #2,0	Disjuntor	15
15	3/4	3F X #4,0 + 1N X #4,0	3F X #1/0 + 1N X #1/0	Disjuntor	25
20	3/4	3F X #6,0 + 1N X #6,0	3F X #1/0 + 1N X #1/0	Disjuntor	30
30	1	3F X #10,0 + 1N X #10,0	3F X #1/0 + 1N X #1/0	Disjuntor	50
50	1 1/4	3F X #25,0 + 1N X #16,0	3F X #4/0 + 1N X #4/0	Disjuntor	70
75	1 1/2	3F X #35,0 + 1N X #25,0	3F X #4/0 + 1N X #4/0	Fusível NH	100
100	2	3F X #70,0 + 1N X #50,0	3F X #4/0 + 1N X #4/0	Fusível NH	160

Quadro 21 - Estimativa de custo para implantação da micro central hidrelétrica

POTÊNCIA (kW)	QUEDA (m)	BARRAGEM	TOMADA ÁGUA: CONCRETO	TOMADA ÁGUA: COMPORTA	CANAL ADUÇÃO: ESCAVAÇÃO	CANAL ADUÇÃO: REVESTIMENTO	CÂMARA CARGA: CONCRETO	CÂMARA DE CARGA: GRADE	CONDUTO FORÇADO: TUBULAÇÃO	CONDUTO FORÇADO: APOIOS	CONDUTO FORÇADO: ANCORAGEM	CASA DE MÁQUINAS	EQUIPAMENTOS ELETRÓ- MECÂNICOS	CANAL DE FUGA: ESCAVAÇÃO	CANAL DE FUGA: REVESTIMENTO	LINHA DE TRANSMISSÃO	S O M A (VALORES EM R\$)
	5	8.022,58	345,91	15,05	100,90	420,55	651,18	40,57	1.194,70	13,69	210,72	5.730,38	8.163,63	33,63	140,18	2.658,20	27.741,88
	10	8.022,58	297,19	12,60	132,69	636,74	465,85	25,95	1.031,45	8,11	62,44	4.742,25	6.063,75	26,54	127,35	2.658,20	24.313,69
	15	8.022,58	287,45	11,55	184,66	949,63	397,84	19,94	788,13	4,28	26,34	4.278,39	5.095,64	23,67	121,75	2.658,20	22.870,04
5	20	8.022,58	282,58	10,85	304,51	1.634,94	360,34	16,65	1.838,97	10,27	26,34	3.705,47	4.504,01	22,07	118,47	2.658,20	23.516,25
	30	8.022,58	277,70	10,15	453,15	2.574,40	321,06	12,79	2.889,81	15,41	26,34	3.578,09	3.784,92	20,14	114,42	2.658,20	24.759,15
	40	8.022,58	272,83	9,80	571,36	3.340,12	300,11	10,50	1.977,05	6,09	7,80	3.578,09	3.345,48	19,24	112,46	2.658,20	24.231,71
	50	8.022,58	272,83	9,45	733,29	4.397,54	286,19	9,29	2.141,80	6,59	7,80	3.247,27	3.040,07	18,47	110,77	2.658,20	24.962,15
	60	8.022,58	267,96	9,10	858,85	5.234,00	273,15	8,17	2.141,80	6,59	7,80	3.247,27	2.811,35	18,01	109,73	2.658,20	25.674,56
	5	8.022,58	628,49	21,78	137,97	501,23	942,75	67,87	1912,57	32,46	499,48	6.254,65	11.409,88	45,99	167,08	3.126,56	33.771,33
	10	8.022,58	331,30	15,05	168,16	700,92	651,18	40,57	1414,10	15,85	121,94	4.742,25	8.474,99	33,63	140,18	3.126,56	27.999,26
	15	8.022,58	306,94	13,65	226,63	1.030,05	534,30	31,37	1031,45	8,11	62,44	4.278,39	7.121,90	29,05	132,06	3.126,56	25.955,47
10	20	8.022,58	297,19	12,60	366,22	1.757,41	465,85	25,95	2.406,72	20,29	62,44	4.278,39	6.295,02	26,54	127,35	3.126,56	27.291,10
	30	8.022,58	287,45	11,55	532,66	2.739,31	397,84	19,94	3781,98	36,52	62,44	3.705,47	5.289,98	23,67	121,75	3.126,56	28.159,70
	40	8.022,58	282,58	10,85	655,35	3.518,67	360,34	16,65	3152,52	17,12	26,34	3.578,09	4.675,79	22,07	118,47	3.126,56	27.583,98
	50	8.022,58	282,58	10,50	837,60	4.623,28	336,49	14,12	3415,23	18,83	26,34	3.578,09	4.248,94	21,10	116,46	3.126,56	28.678,69
	60	8.022,58	277,70	10,15	960,68	5.457,73	321,06	12,79	2141,80	6,59	7,80	3.578,09	3.929,27	20,14	114,42	3.126,56	27.987,36
	5	8.022,58	1.003,63	27,83	170,30	566,38	1.161,11	91,28	1912,57	32,46	499,48	6.799,05	13.878,20	56,77	188,79	4.005,92	38.416,36
	10	8.022,58	545,66	18,48	200,29	770,34	813,59	54,58	1792,04	27,39	210,72	5.226,25	10.308,40	40,06	154,07	4.005,92	32.190,36
	15	8.022,58	345,91	15,05	262,33	1.093,43	651,18	40,57	1414,10	15,85	121,94	4.742,25	8.662,60	33,63	140,18	4.005,92	29.567,53
15	20	8.022,58	306,94	14,00	417,13	1.851,81	560,98	33,51	3299,56	35,66	121,94	4.278,39	7.656,84	30,23	134,19	4.005,92	30.769,67
	30	8.022,58	297,19	12,60	597,10	2.865,34	465,85	25,95	3781,10	32,46	62,44	4.278,39	6.434,37	26,54	127,35	4.005,92	31.035,17
	40	8.022,58	292,32	11,90	728,18	3.665,76	415,52	21,35	4125,82	34,49	62,44	3.705,47	5.687,32	24,52	123,43	4.005,92	30.927,01
	50	8.022,58	287,45	11,20	919,83	4.793,01	380,83	18,58	3415,23	18,83	26,34	3.578,09	5.168,13	23,17	120,73	4.005,92	30.789,91
	60	8.022,58	282,58	10,85	1.052,53	5.651,19	360,34	16,65	3415,23	18,83	26,34	3.578,09	4.779,30	22,07	118,47	4.005,92	31.360,97
	5	8.022,58	1.408,01	33,18	198,25	618,01	1.152,82	89,35	2591,68	63,40	975,56	7.363,58	15.946,98	66,08	206,00	4.020,22	42.755,70
	10	8.022,58	755,16	21,78	231,44	838,53	846,17	57,39	2372,98	32,62	334,62	5.730,38	11.845,04	46,29	167,71	4.020,22	35.322,90
	15	8.022,58	472,58	17,07	295,46	1.162,68	709,27	4,00	1792,04	27,39	210,72	4.742,25	9.953,90	37,88	149,06	4.020,22	31.617,11
20	20	8.022,58	345,91	15,05	464,12	1.934,53	612,55	36,39	4181,04	54,78	210,72	4.742,25	8.798,22	33,63	140,18	4.020,22	33.612,18
	30	8.022,58	306,94	13,65	653,73	2.971,29	496,05	26,74	5185,03	55,47	121,94	4.278,39	7.393,53	29,05	132,06	4.020,22	33.706,67
	40	8.022,58	292,32	11,90	728,18	3.665,76	424,94	22,62	4125,00	34,49	62,44	4.278,39	6.535,11	24,52	123,43	4.020,22	32.371,90
	50	8.022,58	292,32	11,90	986,97	4.926,84	390,49	17,87	4469,63	44,63	62,44	3.705,47	5.938,52	24,86	124,10	4.020,22	33.038,85
	60	8.022,58	287,45	11,55	1.129,25	5.807,34	366,68	15,48	3415,23	18,83	26,34	3.705,47	5.491,74	23,67	121,75	4.020,22	32.463,57

Quadro 21 - Estimativa de custo para implantação da micro central hidrelétrica

(continuação)

	POTÊNCIA (kW)	QUEDA (m)	BARRAGEM	TOMADA ÁGUA: CONCRETO	TOMADA ÁGUA: COMPORTA	CANAL ADUÇÃO: ESCAVAÇÃO	CANAL ADUÇÃO: REVESTIMENTO	CÂMARA CARGA: CONCRETO	CÂMARA DE CARGA: GRADE	CONDUTO FORÇADO: TUBULAÇÃO	CONDUTO FORÇADO: APOIOS	CONDUTO FORÇADO: ANCORAGEM	CASA DE MÁQUINAS	EQUIPAMENTOS ELETRO-MECÂNICOS	CANAL DE FUGA: ESCAVAÇÃO	CANAL DE FUGA: REVESTIMENTO	LINHA DE TRANSMISSÃO	S O M A
	5	8.022,58	2.772,17	42,50	248,52	702,67	1.710,64	154,57	3.373,49	109,55	1.685,76	8.553,06	19.396,82	82,84	234,22	4.066,87	51.156,27	
	10	8.022,58	1.222,87	28,22	285,57	947,30	1.155,41	91,28	2.868,86	48,69	499,48	6.254,65	14.407,50	57,11	189,46	4.066,87	40.145,86	
	15	8.022,58	755,16	21,78	361,05	1.308,11	936,63	67,23	2.372,98	32,62	334,62	5.226,25	12.107,25	46,29	167,71	4.066,87	35.827,11	
30	20	8.022,58	457,97	18,48	552,80	2.126,13	813,59	54,58	5.536,95	86,98	334,62	4.742,25	10.701,55	40,06	154,07	4.066,87	37.709,47	
	30	8.022,58	345,91	15,05	756,73	3.154,13	651,18	40,57	6.570,83	89,01	210,72	4.742,25	8.992,98	33,63	140,18	4.066,87	37.832,63	
	40	8.022,58	306,94	14,00	897,73	3.985,41	560,98	33,51	5.656,39	59,44	121,94	4.278,39	7.948,86	30,23	134,19	4.066,87	36.117,45	
	50	8.022,58	302,06	13,30	1.124,97	5.190,11	506,39	29,01	4.483,67	38,55	62,44	4.278,39	7.223,21	28,34	130,73	4.066,87	35.500,62	
	60	8.022,58	292,32	11,90	1.169,50	5.887,44	469,61	28,46	4.483,67	38,55	62,44	4.278,39	6.679,77	24,52	123,43	4.066,87	35.639,44	
	5	8.022,58	4.267,87	59,58	333,11	827,99	2.305,88	226,24	4.114,04	173,96	2.676,92	9.823,08	24.824,67	111,04	276,00	7.463,75	65.506,71	
	10	8.022,58	2.226,50	37,93	373,78	1.104,97	1.540,18	134,71	3.887,51	95,10	975,56	6.799,05	18.439,18	74,76	220,99	7.463,75	51.396,54	
	15	8.022,58	1.373,90	29,53	471,33	1.526,50	1.224,03	98,86	2.868,86	48,69	499,48	6.254,65	15.495,25	60,43	195,71	7.463,75	45.633,54	
50	20	8.022,58	979,27	24,86	715,92	2.473,13	1.041,45	79,49	6.694,00	113,61	499,48	5.730,38	13.696,19	51,88	179,21	7.463,75	47.765,21	
	30	8.022,58	613,87	19,55	946,68	3.568,21	855,33	58,82	8.700,91	130,47	334,62	5.226,25	11.509,50	42,07	158,59	7.463,75	47.651,21	
	40	8.022,58	438,48	16,10	1.083,01	4.305,49	741,24	46,93	7.168,18	95,86	210,72	4.742,25	10.173,21	36,47	144,97	7.463,75	44.689,23	
	50	8.022,58	345,91	15,05	1.335,20	5.565,29	651,18	40,57	6.127,76	67,36	121,94	4.742,25	9.244,50	33,63	140,18	7.463,75	43.917,16	
	60	8.022,58	311,81	14,35	1.502,74	6.509,68	590,35	35,87	6.127,76	67,36	121,94	4.278,39	8.548,99	31,50	136,47	7.463,75	43.763,54	
	5	8.022,58	7.088,76	79,17	437,18	957,48	2.981,63	306,02	5.004,61	259,68	3.995,87	11.173,63	30.195,04	145,73	319,16	7.718,02	78.684,55	
	10	8.022,58	3.644,26	49,49	472,52	1.261,18	1.927,57	181,31	5.060,66	164,33	1.685,76	8.553,06	22.428,16	94,50	252,24	7.718,02	61.515,63	
	15	8.022,58	2.226,50	37,93	583,10	1.723,75	1.540,18	134,71	3.887,51	95,10	975,56	6.799,05	18.847,36	74,76	220,99	7.718,02	52.887,09	
75	20	8.022,58	1.588,27	32,21	885,84	2.796,00	1.310,09	108,49	9.078,86	221,89	975,56	6.254,65	16.659,11	64,19	202,61	7.718,02	55.918,37	
	30	8.022,58	979,27	24,86	1.167,26	4.032,28	1.041,45	79,49	10.519,15	178,53	499,48	5.730,38	13.999,38	51,88	179,21	7.718,02	54.223,23	
	40	8.022,58	701,57	21,00	1.333,70	4.893,39	902,95	64,25	9.491,90	141,35	334,62	5.226,25	12.374,00	44,91	164,76	7.718,02	51.435,23	
	50	8.022,58	545,66	18,48	1.590,30	6.116,48	813,59	54,58	7.765,52	102,71	210,72	4.742,25	11.244,38	40,06	154,07	7.718,02	49.139,39	
	60	8.022,58	438,48	16,10	1.739,38	6.914,87	741,24	46,93	7.665,52	102,71	210,72	4.742,25	10.398,41	36,47	144,97	7.718,02	48.938,64	
	5	8.022,58	10.289,66	99,13	540,86	1.069,14	3.596,30	379,51	6.137,96	184,87	5.689,44	12.604,72	34.696,12	180,29	356,38	8.031,15	91.878,10	
	10	8.022,58	5.183,81	59,58	555,18	1.379,98	2.305,88	226,24	6.171,07	260,95	2.676,92	8.553,06	25.771,46	111,04	276,00	8.031,15	69.584,91	
	15	8.022,58	3.157,06	45,70	684,70	1.887,56	1.814,50	166,88	3.887,51	95,10	975,56	7.363,58	21.656,88	87,78	241,99	8.031,15	58.118,52	
100	20	8.022,58	2.226,50	37,93	1.031,63	3.049,71	1.540,18	134,71	9.070,87	221,89	975,56	6.799,05	19.142,44	74,76	220,99	8.031,15	60.579,95	
	30	8.022,58	1.373,90	29,53	1.359,60	4.403,37	1.224,03	98,86	14.254,22	316,99	975,56	5.730,38	16.086,22	60,43	195,71	8.031,15	62.162,53	
	40	8.022,58	979,27	24,86	1.540,79	5.322,61	1.041,45	79,49	11.475,43	210,99	499,48	5.730,38	14.218,55	51,88	179,21	8.031,15	57.408,12	
	50	8.022,58	755,16	21,78	1.837,63	6.657,96	936,63	67,23	10.282,90	152,22	334,62	5.226,25	12.920,55	46,29	167,71	8.031,15	55.460,64	
	60	8.022,58	613,87	19,55	2.006,96	7.564,60	855,33	58,82	7.765,52	102,71	210,72	5.226,25	11.948,47	42,07	158,59	8.031,15	52.627,19	

A análise estatística dos resultados se encontra no APÊNDICE 1, onde são apresentados os coeficientes A, B e C, com seus respectivos intervalos de confiança, e o coeficiente de determinação R^2 , notando-se que para as potências de 5 até 15 kW o modelo é o MOD2, enquanto que para as potências de 20 a 100 kW o modelo é o MOD1.

Os resultados acima são expressos de forma gráfica pelas Figuras 14 a 21 através de ajustes de modelos de regressão não-linear.

A Figura 22 representa o conjunto das curvas obtidas para as citadas regressões, permitindo a análise rápida da viabilidade de um local para a implantação de uma micro central hidrelétrica, partindo-se do conhecimento do valor do investimento, da potência e da queda de água.

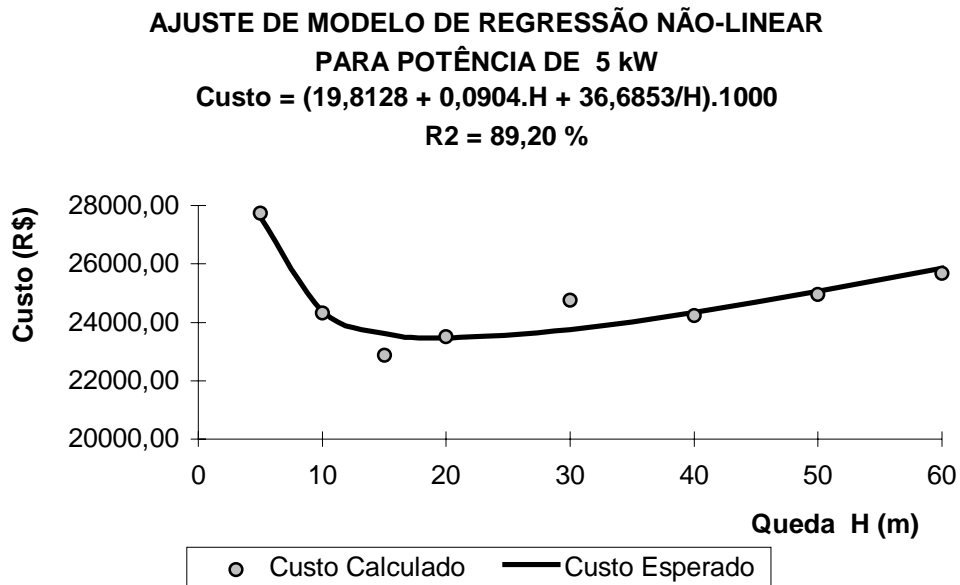


FIGURA 14 - Custo de micro centrais hidrelétricas em função da queda para potência de 5 kW.

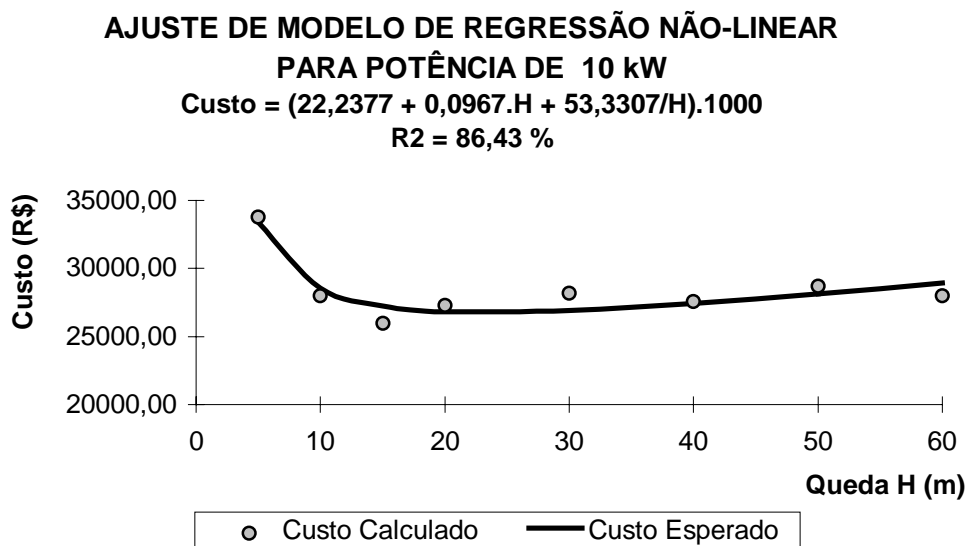


FIGURA 15 - Custo de micro centrais hidrelétricas em função da queda para potência de 10 kW.

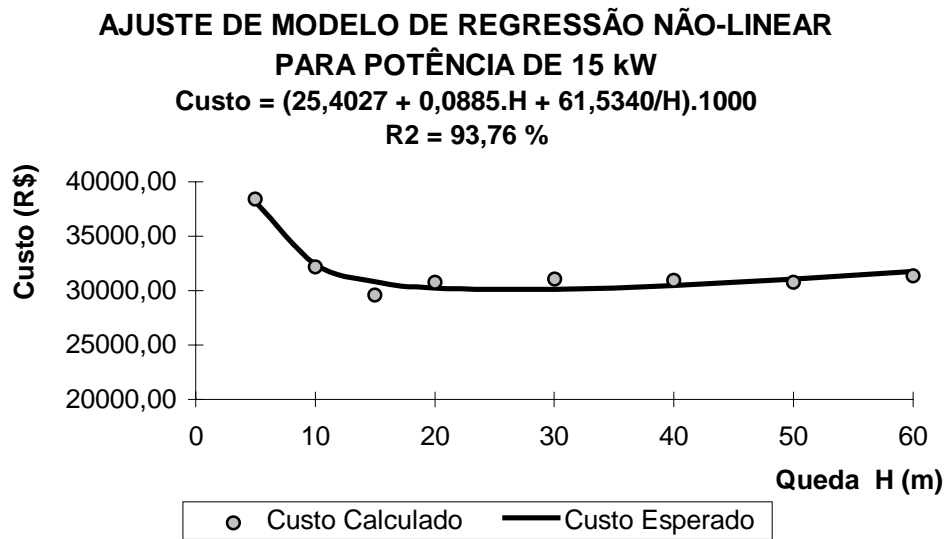


FIGURA 16 - Custo de micro centrais hidrelétricas em função da queda para potência de 15 kW.

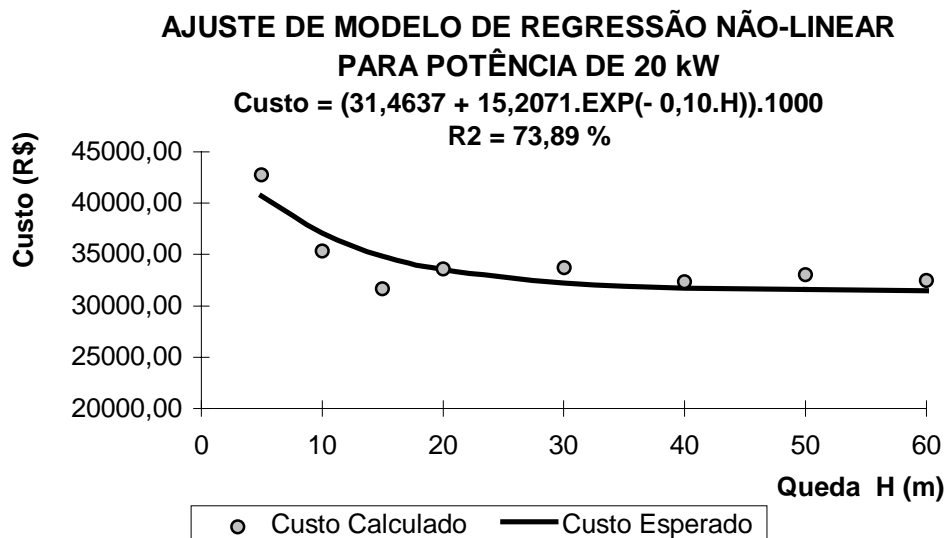


FIGURA 17 - Custo de micro centrais hidrelétricas em função da queda para potência de 20 kW.

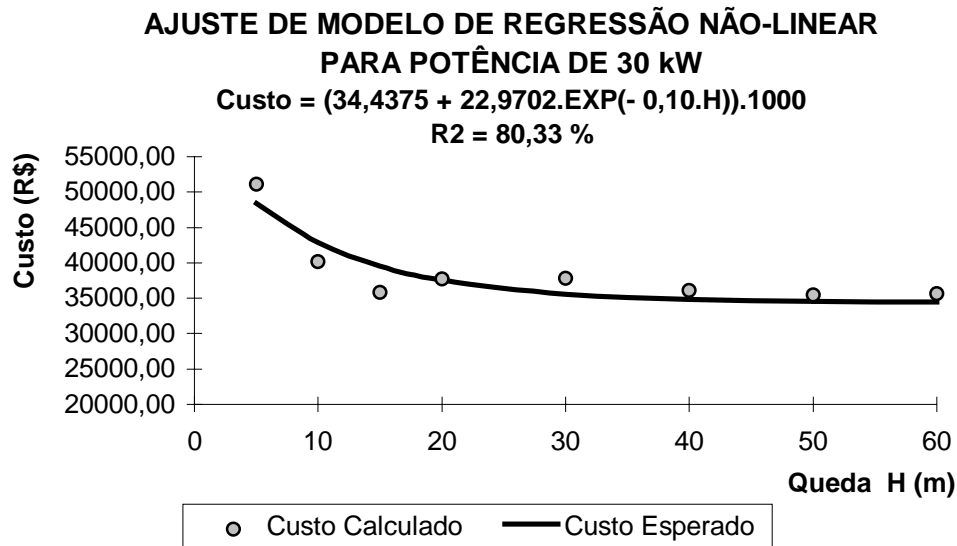


FIGURA 18 - Custo de micro centrais hidrelétricas em função da queda para potência de 30 kW.

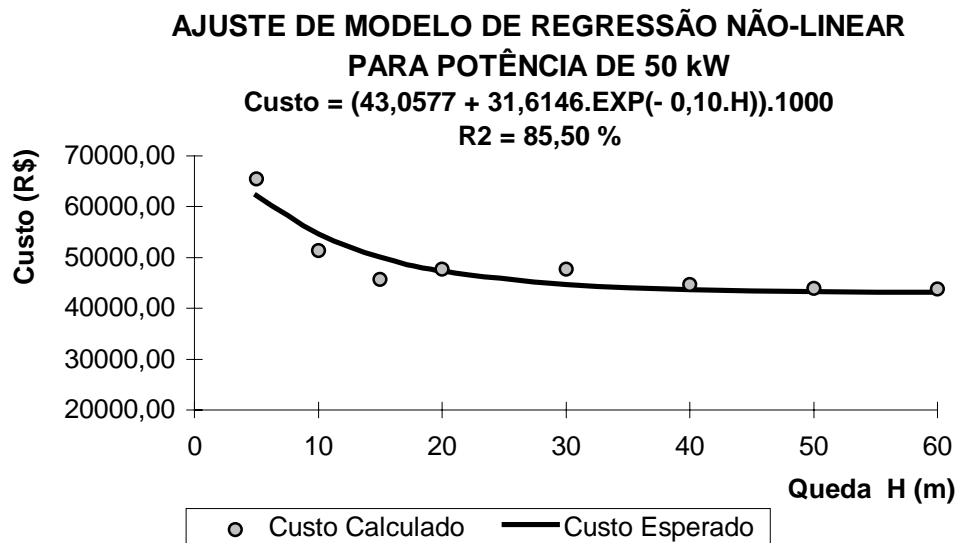


FIGURA 19 - Custo de micro centrais hidrelétricas em função da queda para potência de 50 kW.

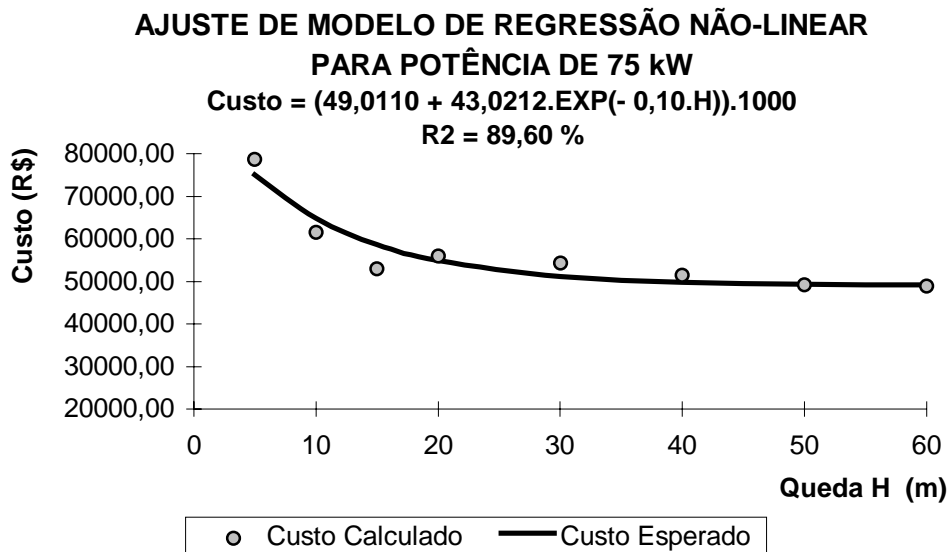


FIGURA 20 - Custo de micro centrais hidrelétricas em função da queda para potência de 75 kW.

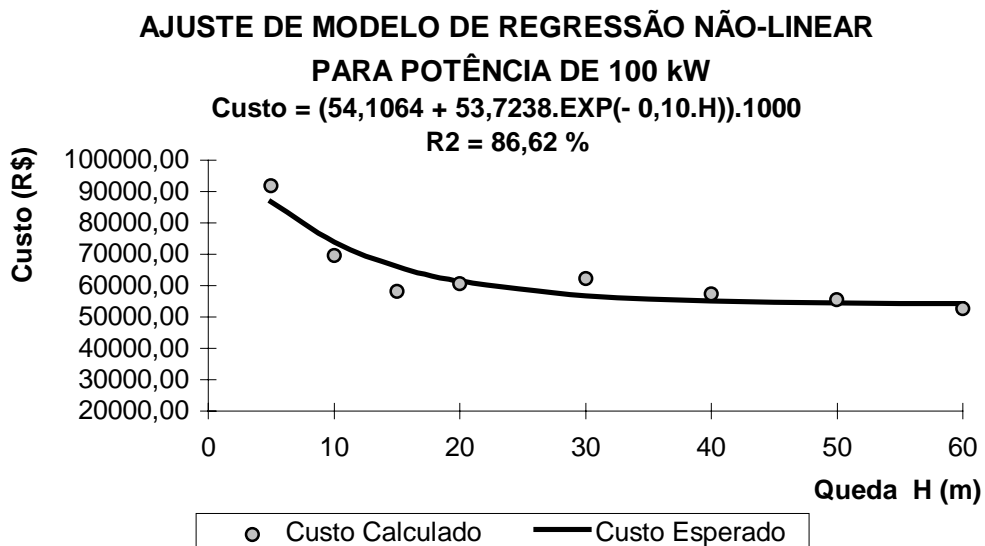


FIGURA 21 - Custo de micro centrais hidrelétricas em função da queda para potência de 100 kW.

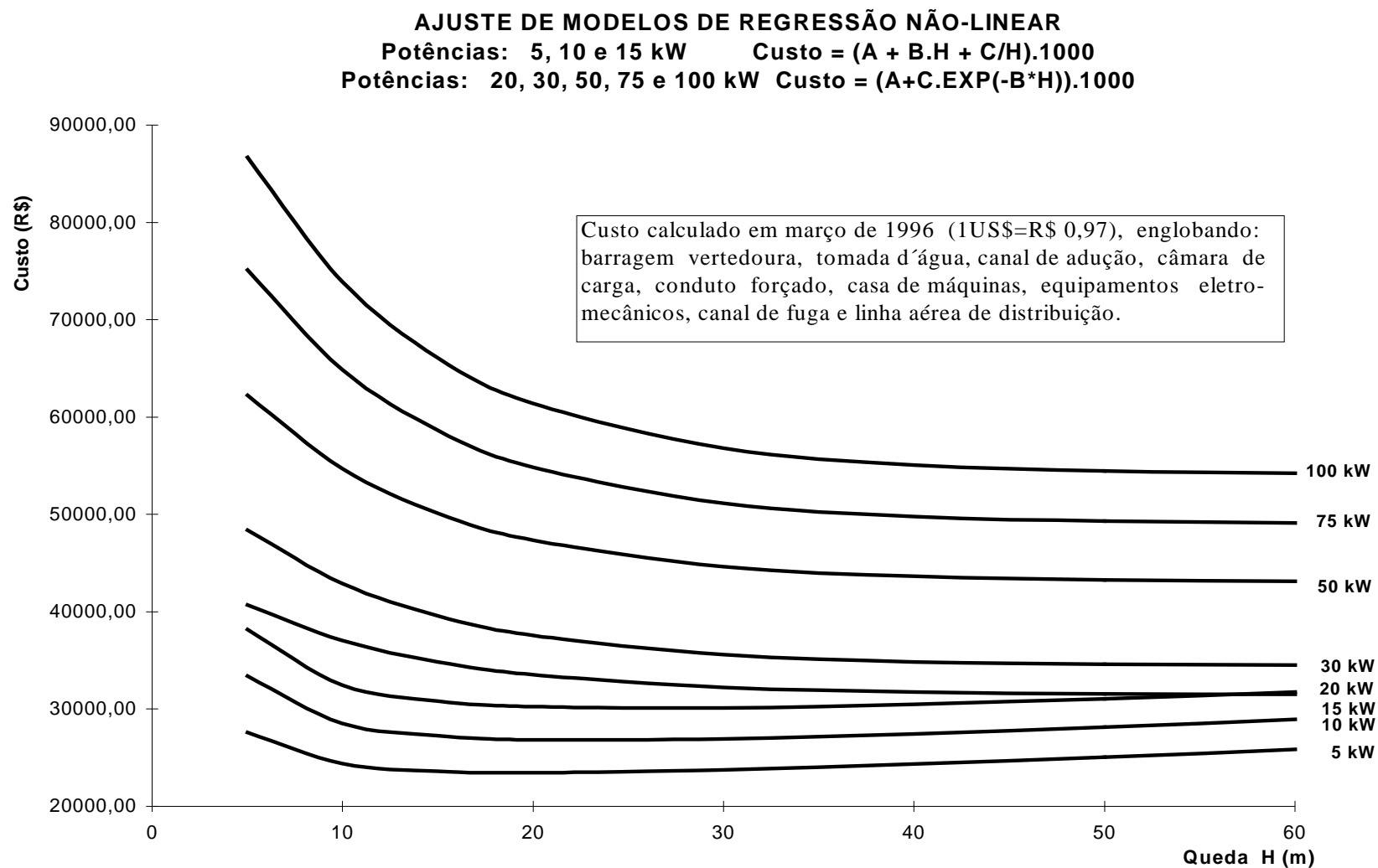


FIGURA 22 - Custo de micro centrais hidrelétricas em função da potência e da queda.

6. DISCUSSÃO

6.1. Considerações sobre topografia, hidrologia e localização.

Os resultados a que se chegou devem ser encarados como uma ferramenta útil para a avaliação dos custos de implantação de um micro- aproveitamento hidrelétrico, dentro das limitações do modelo proposto, especialmente quanto ao tipo de arranjo que foi imposto ao projeto-padrão. No entanto, pode-se afirmar que, diante das características de universalidade desta solução e dos cuidados na escolha e no dimensionamento dos elementos componentes da micro central hidrelétrica, o campo de validade dos resultados é bem mais amplo.

O partido adotado no projeto-padrão, o da disposição de diversas opções de aproveitamento hidrelétrico lançadas "em cascata" ao longo de um trecho de forte declividade, constitui o caso mais geral em termos de

topografia, sendo exceções as quedas abruptas de grande altura (quedas, cachoeiras, cascatas), que se apresentam na natureza em quantidade limitada.

A topografia do local do aproveitamento é, de qualquer modo, um elemento que, integrado às variáveis hidrológicas e de localização, que irá influir na definição da viabilidade ou não de um dado aproveitamento hidrelétrico.

Este deverá sempre dispor de:

- altura de queda suficiente;
- vazão firme capaz de suprir a demanda;
- distâncias apropriadas do centro de consumo.

A altura de queda, que poderá, em alguns casos, ser proveniente de uma descontinuidade vertical em forma de queda, cachoeira ou cascata, na maioria das vezes será obtida com a condução de água, através de canal ou tubulação de adução, até um ponto conveniente, tal como foi previsto no projeto-padrão.

Para a implantação de um micro-aproveitamento, a primeira etapa, mais genérica, consiste no estudo das possibilidades de localização em mapas de grande escala, até mesmo de 1:50.000, seguido de análise acurada dos locais mais adequados. Estes locais podem ser reconstituídos a partir de fotos aéreas, que servirão para que sejam feitos mapas de escala 1:5000 ou 1:2000. Em casos especiais, como os aproveitamentos de baixa queda, não se poderá dispensar uma medição do local com a aparelhagem apropriada.

A vazão firme turbinável, no caso de um micro- aproveitamento, é aquela cuja abcissa seja de 95% na curva de permanência de vazões. Ressalte-se que a obtenção de vazões turbináveis maiores, mediante reservatórios, fica fora do campo das micro usinas hidrelétricas. A determinação desta vazão pode apresentar problemas de incerteza. É rara a existência de uma rede de estações limimétricas ao longo de cursos de água próximos ao local de implantação, cujas informações, a partir dos estudos de transposição de dados fluviométricos, poderiam fornecer uma clara indicação das vazões do rio que se pretende aproveitar. Na maioria dos casos, é possível lançar mão de curvas de permanência típicas de grandes bacias, como as existentes no Estado do Paraná. Tais curvas típicas, no entanto, devem ser encaradas com alguma reserva, uma vez que se baseiam em dados de postos fluviométricos situados nos cursos de água principais, com bacias da ordem de milhares de quilômetros quadrados e, portanto, pouco sujeitas a vazões extremas.

O micro- aproveitamento quase sempre se refere a um rio cuja bacia de contribuição fica entre a dezena e algumas centenas de quilômetros quadrados, sendo, portanto, muito mais sensível a variações de vazões. Note-se ainda que até mesmo nas formulações empíricas para cálculo de vazão de vertedouros, os coeficientes de variabilidade crescem com a redução da área da bacia de contribuição. O mesmo elemento de variabilidade afeta a vazão firme, que tanto pode ser, para grandes bacias do sul do Brasil, de 4 l/s/km² quanto de 1 l/s/km². Há até quem sugira (ELETROBRÁS & DNAEE, 1985a, b) avaliações

expeditas de vazão, feitas, através de métodos rudimentares, em épocas definidas como de estiagem, para que o resultado destas avaliações sejam adotados, mediante a aplicação de coeficiente de ponderação, como vazão firme.

A imensa lacuna existente nos estudos acerca da hidrologia das pequenas bacias, que constitui um empecilho à disseminação dos aproveitamentos hidrelétricos em pequena escala, está a indicar a urgente necessidade de estudos aprofundados nesse campo.

A distância entre a fonte geradora e o centro consumidor é determinante da viabilidade do aproveitamento de pequeno porte, que encontra aí a razão de sua existência. Será necessário que a transmissão se faça em baixas tensões para evitar custos com transformação de voltagem. Numa avaliação primária, é possível afirmar que o abastecimento de energia em baixa tensão não é viável numa distância superior a 1 km, no caso médio. É importante salientar que quanto maior for a potência transmitida, maior será a perda, o que implica em distância média de transmissão menor.

6.2. Considerações sobre os resultados

A formulação de um diagnóstico das melhores alternativas para a implantação de usinas hidrelétricas é o objetivo principal dos estudos de inventário, pois eles permitem que se maximize o aproveitamento dos recursos hídricos, minimizando os custos.

Cada aproveitamento hidrelétrico definido ao longo dos estudos de inventário é reavaliado, individualmente, pelos estudos de viabilidade econômica.

Estes estudos servem também para selecionar os melhores aproveitamentos para o próximo estágio, o do projeto básico dos empreendimentos.

O projeto básico de uma usina hidrelétrica, tarefa que deve ser executada logo após os estudos de viabilidade econômica, tem que prover todos os elementos fundamentais para a implantação da usina, bem como as referências necessárias para a licitação dos seus componentes.

É importante chamar a atenção para o fato de que os resultados obtidos têm limitações definidas pelas soluções adotadas no projeto-padrão. Mesmo estando elas devidamente ressaltadas no texto, é oportuno destacar pelo menos as principais:

- foi prevista barragem vertedouro com altura de 1,50 metros,
- admitiu-se sistema adutor em canal;
- foram projetadas obras civis sem sofisticação, com dimensões mínimas e materiais econômicos;
- considerou-se a instalação simples dos equipamentos eletromecânicos;
- definiu-se que a distância entre o local do aproveitamento e o centro consumidor é de 400 metros, para que o custo do sistema de transmissão não fosse aumentado;

- as dimensões da casa de máquinas estão adequadas à instalação de apenas uma unidade geradora.

Acrescente-se ainda às limitações acima, todas elas adotadas em benefício da generalidade, a adoção de um aproveitamento que lança mão de um trecho de rio com declive e não de uma queda pontual, que não é freqüente na natureza. Como conseqüência do que se afirmou acima e do fato de que a topografia é um dado não-redutível a modelo matemático, os elementos geométricos, que constam do APÊNDICE 1, demonstram que o comprimento do canal de adução cresce, em função da altura de queda, de modo contínuo até 50m, apresentando daí em diante um arrefecimento quanto ao aumento de comprimento. Demonstra ainda o mesmo comportamento, com relação ao comprimento da tubulação forçada que, após crescer de modo proporcional à queda até a altura de 30 metros, passa a apresentar crescimento menor, até se igualar nas quedas de 50 e 60 metros. O canal de fuga, por outro lado, é de comprimento constante em todos os arranjos. Há que se frisar ainda que, por adoção baseada na prática construtiva, a solução adotada para a barragem é a mesma em todos os arranjos considerados.

O Quadro 21, que fornece os custos de todos os elementos componentes de cada solução, sofre ainda a influência da adoção de dimensões mínimas construtivas, que influem mais fortemente quanto maior for a queda (e, portanto, quanto menor for a vazão necessária para a obtenção da potência pretendida), em especial no canal de adução e na tubulação forçada. A esta última, deve ainda ser acrescido o efeito da adoção de bitolas comerciais.

A análise do Quadro 21 demonstra também que seis itens (barragem, adução, tubulação forçada, equipamento eletromecânico, casa de máquinas e linha aérea de distribuição) foram responsáveis pela quase totalidade dos custos (chegando a 97% em alguns casos), cabendo aos demais elementos uma participação mínima nos custos do aproveitamento.

A barragem - cujo custo é, no projeto-padrão, completamente fixo - representou de 9 a 34% do custo total, que é tanto mais alto quanto menor for a potência do aproveitamento. A solução de barragem de concreto funcionando à gravidade, escolhida pela ampla aplicabilidade, poderá, em casos em que a geologia o exigir, ser modificada para barragem de terra. Nesta situação, o barramento propriamente dito apresentará custo inferior ao avaliado, embora a necessidade de um vertedouro revestido, de custo elevado, faça com que o conjunto tenha custo aproximado ao de uma barragem de concreto.

O canal, totalmente revestido em alvenaria, representou de 2 a 23% do custo, crescente com a distância e pouco variando com a vazão e, portanto, com a potência. Esta é uma característica das micro usinas: as dimensões do canal de adução se aproximam dos mínimos construtivos, acarretando assim um custo unitário quase constante por unidade de comprimento. Também quanto a este elemento, seria possível usar como variante, se o substrato for de natureza rochosa, o canal sem revestimento (mais barato que no projeto-padrão), o que exigiria, no entanto, escavação em material mais duro (que seria mais cara do que a prevista no projeto-padrão). O custo final provavelmente aproximar-se-ia daquele avaliado.

O conduto forçado, representando de 5 a 21% do custo total, foi considerado de ferro dúctil, único material existente no mercado capaz de satisfazer à necessidade de diâmetros e pressões de serviço exigidas pelas diversas variantes do projeto-padrão. Em casos muito especiais, quando a pressão de serviço se situar abaixo de 20 metros de coluna de água (mca) e os diâmetros puderem ser aqueles apresentados pela oferta do mercado, é possível pensar em cloreto de polivinila (PVC) para a tubulação forçada. Também o ferro fundido e o ferro galvanizado poderiam ser empregados em algumas faixas de diâmetro e de pressão de serviço.

A casa de máquinas chega a representar 22% dos custos nos aproveitamentos de menor potência, reduzindo sua participação a 10% na faixa próxima a 100 kW. A área de construção, totalmente dependente das dimensões do equipamento eletromecânico, tem pequena variação com o aumento da potência.

O equipamento eletromecânico, quando analisado no conjunto de potências próximo ao extremo superior do estudo, representou 38% dos custos. Este valor se assemelha aos 40% citados na literatura técnica que trata de aproveitamentos com potência de até 10.000 kW. Quando, entretanto, as faixas de potência mais baixas são analisadas, o equipamento eletromecânico representa somente 11% do custo total, refletindo a extraordinária relevância dos custos das obras civis nesses casos.

A rede aérea de distribuição, cujo custo manteve uma relação clara com a potência a ser transmitida, ficou com a faixa de 9 a 15% do total. Por

se tratar de um micro- aproveitamento, foi prevista somente rede distribuidora, com ausência, portanto, de equipamento de elevação e de rebaixamento de tensões.

6.3. Considerações sobre os modelos

O trabalho estatístico de ajuste de modelos de regressão não-linear a partir dos dados numéricos constantes do Quadro 21, demonstrado pelas curvas das Figuras 14 a 21, em especial pela Figura 22, que representa o grande resumo gráfico dos resultados, caracteriza-se por comportamentos distintos entre as curvas da faixa inferior (de 5 até 15 kW) e da faixa intermediária e superior (de 20 a 100 kW). Enquanto as primeiras se constituem em hipérbolas, com custo variando em função inversa da queda, as outras se apresentam como espirais.

Confirma-se, nas curvas do estrato superior, a afirmativa constante da literatura sobre o assunto de que o custo das centrais diminui à medida que aumenta a altura de queda, embora seja perceptível que tal diminuição é acentuada até cerca de 20m de queda, sendo pouco significativa daí em diante.

O ponto de custo mínimo, levado para o limite superior das alturas de queda estudadas é encontrado para $H = 60\text{m}$, mas já nos 20m de queda obtém-se custos unitários por kW instalado de R\$ 1676,00 (para 20 kW) até R\$ 614,00 (para 100 kW).

Entretanto, na faixa dos aproveitamentos de menores potências, inverte-se o comportamento citado pela literatura, havendo aumento - embora pouco acentuado - de custo com altura de queda a partir dos 20m, demonstrando claramente a existência de um ponto de custo mínimo situado entre as baixas quedas (5 e 20m) e um ramo ascendente que se manifesta a partir dos 20m de altura de queda. Este ponto mínimo indica valores de custo unitário por kW instalado de R\$ 4691,00 (para potência de 5 kW) a R\$ 2017,00 (para potência de 15 kW).

A diferença entre as curvas de regressão chega a causar sobreposição e cruzamento de curvas entre as potências de 15 a 20 KW, na faixa dos 55m de altura de queda, o que se deve à natureza forçosamente aproximada do trabalho de ajuste (note-se, no Apêndice 2, que o coeficiente de determinação da curva de 20 kW é de 73,89%, o menor em todo o trabalho de ajuste, embora seja o máximo encontrado entre todos os modelos pesquisados).

6.4. Considerações sobre outros trabalhos

6.4.1. Custos segundo ELETROBRÁS & DNAEE (1985)

O levantamento de custos, segundo o critério aproximativo sugerido pelo Manual das Micro Centrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS & DNAEE, 1985b), é apresentado, como Apêndice 3, a partir de apenas cinco elementos (barragem, tubulação forçada, casa de máquinas, equipamentos e linha de alimentação) com custos unitários transformados em dólares norte-americanos e, a partir destes, em moeda nacional. Tais custos variam de acordo com a potência de 2 a 100 kW e com alturas de queda de 5 a 30m. Os quatro primeiros elementos componentes foram retirados diretamente das tabelas constantes da literatura citada e o último foi deduzido do exemplo constituinte do texto. As alturas de queda e potências são as que constam das tabelas citadas. Nos Apêndices 4 e 5 são apresentados, respectivamente, as estimativas dos parâmetros e R^2 do modelo de regressão ajustado, bem como a representação gráfica para o ajuste de curvas do tipo espiral, cujos excelentes coeficientes de correlação transformam-na, segundo a obra citada, na melhor forma de ajuste para o cálculo dos custos.

Os custos se apresentam, nas curvas do Apêndice 5, claramente descendentes em função da altura de queda, estando porém esta

limitada em 30m, comportamento que se assemelha ao obtido pelo presente trabalho.

A divergência reside nos valores absolutos e unitários dos custos, muito menores para ELETROBRÁS & DNAEE. Isso se deve, em primeiro lugar, à concentração do custo em apenas cinco elementos principais, com exclusão dos demais, em especial do canal de adução que, conforme se afirmou, pode chegar a 23% do custo global. Em segundo lugar, os custos considerados no manual em questão foram levantados em novembro de 1984 e convertidos, para efeitos de comparação, em dólares norte-americanos daquela época, devendo, portanto, ser corrigidos conforme a inflação da moeda americana, ou seja, em cerca de 35%.

6.4.2. Custos segundo DNAEE & COPEL (1988)

Meramente a título de curiosidade, uma vez que se trata de obra dirigida ao estudo dos custos em usinas de até 10.000 kW, foi também levantado o custo de implantação de micro centrais, com a consideração completa dos elementos componentes, segundo os critérios preconizados pelo estudo de DNAEE & COPEL (1988). A planilha de custos - com preços unitários atuais - constitui o Apêndice 6, enquanto as estimativas dos parâmetros e o R^2 dos modelos de regressão adotados constituem o quadro do Apêndice 7 e a representação gráfica, o Apêndice 8.

As curvas, sempre do tipo hiperbólico, apresentaram excelentes coeficientes de regressão. Todas (com exceção daquela de potência de 100 kW) manifestaram uma tendência de custos inicialmente decrescentes com a altura da queda e, a partir de um ponto (de 10m para 5 kW a 30m para 75 kW), custos crescentes com a altura, revelando, portanto, o mesmo comportamento, ressalvados os valores absolutos, observado nos resultados obtidos.

6.4.3. Custos segundo MARTINEZ (1994)

Com base nos trabalhos de MARTINEZ (1994), também foi analisado o comportamento dos custos de implantação de usinas na mesma faixa das aqui estudadas. Destaque-se que a obra citada abrange também a faixa dos aproveitamentos de pequeno porte (cujo limite superior, segundo o autor, é de 30.000 KW, e o limite inferior de 500 kW) como um todo, abarcando as micro, mini e pequenas usinas.

O Apêndice 9, que contém os custos para os elementos componentes do aproveitamento, com preços atuais, o Apêndice 10, que apresenta a estimativa dos parâmetros e R^2 dos modelos de regressão ajustados, e o Apêndice 11, com as curvas obtidas, apresentam os resultados da aplicação dos critérios da referida obra ao arranjo do projeto-padrão do presente trabalho. As potências menores (até 20 kW) revelaram custos crescentes com a altura de

queda, numa relação linear. De 30 kW a 100 kW, a curva de melhor ajuste foi novamente uma hipérbole, com custos decrescentes até cerca de 10m e crescentes daí em diante, confirmando mais uma vez a mesma tendência apresentada pelos resultados obtidos.

7. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos sobre os custos de implantação de micro usinas hidrelétricas, localizadas em trechos de rios de natureza contínua, com forte declividade, autorizam as seguintes conclusões:

1. o custo de implantação pode ser expresso pelas equações:

$$\text{Custo} = A + B.H + C/H \quad (\text{para as potências de 5, 10 e 15 KW})$$

$$\text{Custo} = A + C.\exp(-B.H) \quad (\text{para as potências de 20, 30, 50, 75 e 100 kW})$$

onde:

H = queda, em metros, e;

A, B e C = coeficientes apresentados no Apêndice 2.

2. desde que estejam asseguradas as condições topográfica, hidrológica e de localização, a queda mais adequada se situa na faixa dos 20 metros;

3. para quedas inferiores a 20 metros, mantida a potência, o custo de implantação diminui com a disponibilidade de queda bruta;

4. para quedas superiores a 20 metros, mantida a potência, há aumento do custo com a disponibilidade de queda para as potências de 5, 10 e 15 kW, ao contrário do que afirma a literatura existente. Para as demais potências (20, 30, 50, 75 e 100 kW) há diminuição pouco acentuada do custo, tendendo a um valor constante, com a disponibilidade de queda;

5. não é possível aplicar parâmetros de custos, definidos para usinas de mais de 100 kW, a micro-aproveitamentos, especialmente àqueles com potência inferior a 20 kW;

6. pode-se esperar custos por kW instalado, referentes ao mês de março de 1996, quando 1 real equivalia a 0,97 dólares americanos, de 600 reais a 4700 reais, sendo que quanto maior for a potência instalada menores serão os custos.

8. SUMMARY

This dissertation presents a cost evaluation method for hydroelectric power plants with suitable technology for small isolated communities. These projects should be done with a simple technical planning approach since the construction is usually done with local labor and industrial support. The project and construction costs should be appropriate to the dimensions of the plant and the system to be supplied.

The research was done for a standard typical project with installed capacities varying from 5 to 100 kW and heads from 5 to 60 meters.

These results can be used for preliminary studies of the feasibility of a given site. Costs are presented with the use of “cost x head x capacity” curves.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, M. T. **Vibrações mecânicas para engenheiros**. São Paulo :
Edgard Blucher, 1987.
- ANDRADE, R. M. de. **A drenagem nas fundações das estruturas
hidráulicas**. Engevix, 1982.
- AZEVEDO NETTO, J. M.; ALVAREZ, G. A. **Manual de hidráulica**.
6ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1973. 2v.
- BAJAY, S. V.; SANTOS, A. II. M. **Capacity planning of decentralized
small-scale hydro power plants**. Las Vegas: Water Power 95, 1983.
- BAJAY, S. V.; SILVA, V. A.; RICCIULLI, D. L. S. Planejamento da
expansão do setor elétrico brasileiro, mudanças institucionais,
novas políticas e novos instrumentos de planejamento. In:
CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 5, 1990, Rio de Janeiro.
Anais...
- BAJAY, S. V.; WALTER, A. C. S. Geração descentralizada de
energia elétrica. In: SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE CO-GERAÇÃO DE
ENERGIA NA INDÚSTRIA, 1989, Campinas. **Anais...**
- BALESTIERI, J. A. P.; MARTINEZ, C. B. Critérios para a concepção
geral da PCH braço norte II. In: SEMINÁRIO DE CIÊNCIAS
EXATAS E ENGENHARIA, 1992, Guaratinguetá. **Anais...**
- BARROWS, H.K. **Water Power Engineering**. Londres: McGraw-Hill,
1934.
- BUREAU OF RECLAMATION. **Design of small dams**. USA: 1977.
- BUSQUET, R. **Précis d'hydraulique - La houille blanche**. Paris, Encyclopédie
Industrielle, 1905.
- BELLMAN, R. E.; DREYFUS, S. E. **Applied dynamic programming**.
Princeton University, 1962.

- CAMPINI, E. **Costruzioni idrauliche e idraulica tecnica**. Milano: Ulrico Hoepli, 1933.
- CARNEIRO, R. R. **Usinas hidrelétricas**. Itajubá: Fundação IEI, 1956.
- CAPPER, P. L.; CASSIE, W. F. **The mechanics of engineering soils**. New York: McGraw-Hill, 1953.
- CENTRO DA MEMÓRIA DA ELETRICIDADE DO BRASIL. **Debates parlamentares sobre energia elétrica na primeira república**. Rio de Janeiro, 1990.
- CEMAT. **Relatório Técnico sobre a PCH Torixoréu**. Mato Grosso, 1987.
- CENTRO DA MEMÓRIA DA ELETRICIDADE DO BRASIL. **Panorama do setor de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro, 1990.
- CHELLS, R. D. **Pile foundations**. New York: McGraw-Hill, 1951.
- CONCRETE PUBLICATIONS. **Concrete and constructional engineering**. Londres: Buckinghan Gate, 1964.
- COPEL. **Catálogo de pequenas centrais hidrelétricas: locais cadastrados**. Curitiba, SEA, 1991.
- CREAGER, W. P.; JUSTIN, J. D.; HINDS, J. **Engineering for dams**. Londres: Wiley & Sons, 1944.
- DASTRE, L. D.; SEBUSINI ANI, L. R. ; ARANTES, R. L. Aquisição de excedentes de energia elétrica de auto produtores - aspectos comerciais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 5, 1990, Rio de Janeiro. **Anais...**
- DASTRE, L. D. et al. Auto-produtores de energia elétrica e o apoio do fornecimento emergencial pela concessionária. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 5, 1990, Rio de Janeiro. **Anais...**
- DAVIS, C. V. **Handbook of applied hydraulics**. New York: McGraw-Hill, 1952.
- DE MELLO, V. F. B. **De Mello volume**. São Paulo, Blucher, 1991.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE AGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Nova tarifa de energia elétrica: metodologia e aplicação**. Brasília, 1985.

- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA.
Avaliação da oportunidade e das condições para lançamento de um novo programa de implantação e de recuperação de pequenas centrais elétricas - PCA. Brasília, 1995.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE AGUAS E ENERGIA ELÉTRICA ;
 COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA ELÉTRICA.
Aproveitamentos hidrelétricos de pequeno porte: avaliação de custos e benefícios. Brasília, 1988.
- DEMETERCO, P. L. **Sistemática de concorrências públicas para suprimento e energia elétrica a mercados isolados pela iniciativa privada.** Brasília: DNAEE/DCAE, 1988.
- DEMANBORO, A. C. **Planejamento e adições graduais de pequenas centrais hidrelétricas ao parque gerador de empresas concessionárias de energia elétrica.** Campinas, 1990. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas.
- ELETRORÁS. **Concreto massa no Brasil.** Rio de Janeiro: Memória Técnica, 1989.
- ELETRORÁS. **Manual de inventário hidrelétrico de bacias hidrográficas.** Rio de Janeiro, 1984.
- ELETRORÁS. DEPARTAMENTO NACIONAL DE AGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Manual de pequenas centrais elétricas.** Rio de Janeiro, 1982.
- ELETRORÁS. DEPARTAMENTO NACIONAL DE AGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Manual de minicentrais hidrelétricas.** Rio de Janeiro, 1985.
- ELETRORÁS. DEPARTAMENTO NACIONAL DE AGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Manual de microcentrais hidrelétricas.** Rio de Janeiro, 1985.
- ELETRORÁS. DEPARTAMENTO NACIONAL DE AGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Metodologia para regionalização de vazões.** Rio de Janeiro, 1985.
- ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE. **Simplified methodology or economic screening of potencial small capacity hydro eletric sites.** San Francisco, 1983.
- ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE. **Cost and design study of modular small hydro plants.** New York, 1984.

- ERBISTE, P. C. F. **Comportas hidráulicas**. Rio de Janeiro: Campus/Eletróbrás, 1987.
- EUA. Army Corps of Engineers. **Feasibility studies for small scale hydropower; a guide manual**. Davis, 1979.
- FLAMANT, A. **Hydraulique**. Paris: Libr. Polytechnique, Encyclopédie des Travaux Publics, 1919.
- FRENCH, R. H. **Open chanel hydraulics**. Singapore: McGraw-Hill, 1982.
- FRITZ, J. J. **Small and mini hydropower systems**. New York: McGraw - Hill, 1984.
- FUNDAÇÃO DE PESQUISA E ASSESSORAMENTO A INDÚSTRIA. **Projetos dos cursos de estudos e projeto de PCH's**. Itajubá, 1983-1987.
- GARCEZ, L. N. **Construções hidráulicas**. São Paulo: Blucher, 1962.
- GARCEZ, L. N. **Hidráulica**. São Paulo, 1960. (Notas de aula).
- GIBSON, A. H. **Hydro electric engineering**. Londres: Blackie and Son, 1921.
- GRAF, W. H. **Hydraulics of sediment transport**. New York: McGraw-Hill, 1971.
- GRISHIN, M. M. **Hydraulic structures**. Moscou: Mir Publishers, 1982.
- GUIA do usuário: Microsoft Excel - versão 5.0. Cambridge, Microsoft Corporation, c 1993 - 1994.
- GUIMARÃES, L. B.; ROCHA, J. C. A. **Sistemática de cálculo para a determinação do kW instalado dos componentes hidromecânicos e elétricos de microusinas hidrelétricas**. Curitiba: Secretaria de Estado de Planejamento, Coordenadoria de Estudos e Projetos, 1983.
- GUYON, Y. **Béton Précontraint**. Paris : Eyrolles, 1958.
- HANGSHOU REGIONAL CENTER FOR SMALL HYDRO POWER. **Mini hydro power**. Hangshou, 1993.

HOOL, G.; JONHSON, N.C. **Concrete engineers handbook**. New Jersey: McGraw-Hill, 1918.

HUARTE, J. P. **Procedimientos de Sondeo**. Madrid: Serviço de Publicaciones de J. En., 1977.

ITENTE/OLADE. **Apuntes para un manual tecnico de deseno, estandarizacion y fabricacion de equipos para pequenas centrales hidro electricas**. Peru: OLADE, 1988.

JIANDONG, T. **Small hydro power: China's practice**. China: Hangzhou Regional Center, 1994.

KRAATZ, D. B. **Pequenãs obras hidraulicas**. Roma: ONU, 1976.

LIMA, C.M.B.; MARTINEZ, C.B. A otimização de casas de máquinas em pequenas centrais hidrelétricas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 5, 1990, Rio de Janeiro. **Anais...**

LOUREIRO, B. T. **Pequenas barragens de terra**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1994.

MACINTYRE, A. J. **Máquinas motrizes hidráulicas**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.

MALLET, C.; PACQUANT, J. **Les barrages en terre**. Paris: Editora Eyrolles, 1951.

MARCO, C. H.; MARTINEZ, C. B.; LIMA, C. M. B. Uma metodologia para a seleção de locais barráveis e determinação preliminar de potência instalada de pequenas centrais hidrelétricas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 5, 1990, Rio de Janeiro. **Anais...**

MARTINEZ, C. B. **Pré-dimensionamento de pequenas centrais hidrelétricas**. Itajubá, 1988. Dissertação (Mestrado) - EFEI.

MARTINEZ, C. B. **As interações entre o planejamento e o projeto de usinas hidrelétricas. O caso das PCH's no Brasil**. Campinas : 1994. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas.

MARTINEZ, M. L. B. et alli. A Vantagem da geração hidrelétrica no Estado de Roraima. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 5, 1990, Rio de Janeiro. **Anais...**

- MARTINEZ, M. L. B. et alli. Os Projetos hidrelétricos integrados a projetos agrícolas no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 5, 1990, Rio de Janeiro. **Anais...**
- MARTINEZ, C. B.; MARTINEZ, M. L. B.; VIOLIM, A. **Projeto PCH Ponte de Pedra concepção básica e comentários.** São Paulo, 1990. (Concorrência DNAEE MT 001/88, Concepção Básica Comentarios. S.P., HYDRO 90).
- MARTINEZ, C.B.; MARTINEZ, M.L.B. A Viabilidade econômica devido ao uso múltiplo de uma barragem para contenção contra cheias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA/ SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE ENERGIA, 6/1, 1993, Rio de Janeiro. **Anais...**
- MARTINEZ, C. B.; MARTINEZ, M. L. B. A pequena central de São Judas Tadeu - a participação da iniciativa privada em hidrogeração - características técnicas e viabilidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA/SEMINARIO LATINO AMERICANO DE ENERGIA, 6/1, 1993, Rio de Janeiro. **Anais...**
- MARTINEZ, C. B.; MARTINEZ, M. L. B.; BAJAY, S. V. A utilização de grupos axiais em projetos de PCH's no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA/SEMINÁRIO LATINO AMERICANO, 6/1, 1993, Rio de Janeiro. **Anais...**
- MARTINEZ, M. L. B.; MARTINEZ, C. B. O suprimento de energia elétrica em regiões subdesenvolvidas em países em desenvolvimento. As concorrências públicas brasileiras e o capital privado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA/SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE ENERGIA, 6/1, 1993, Rio de Janeiro. **Anais...**
- MARTINEZ, C. B.; SANTOS, A. H. M.; BAJAY, S. V. Pré-dimensionamento de Pequenas Centrais Hidrelétricas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 1,1989, Campinas. **Anais...** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1989.
- MARTINEZ, C. B.; AGRA, D.; BAJAY, S. V. Uma contribuição ao estudo de custo de centrais hidrelétricas de médio porte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO, 1, 1989, Campinas. **Anais...** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1989.

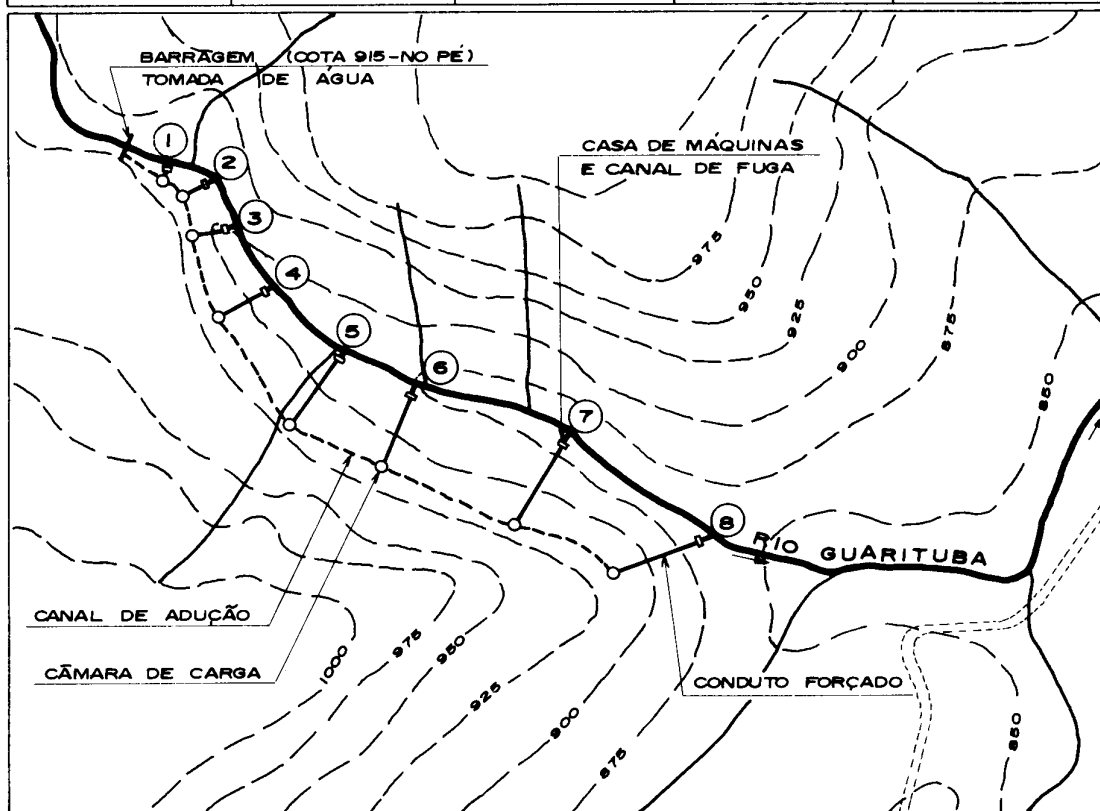
- MARTINEZ, C. B. et alli. Tecnologia apropriada para micro centrais hidrelétricas. In: ENEC, 2, 1990, Campinas. **Anais...** Campinas : Universidade Estadual de Campinas, 1990.
- MARTINEZ, C. B. et alli. Um método para determinação da vazão de projeto de PCH's, considerando sua capacidade de regularização diária. In: SNPTE, 10, 1990. **Anais...**
- MARTINEZ, C. B. et alli. Tecnologia apropriada para PCH's. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 5, 1990, Rio de Janeiro. **Anais...**
- MARTINEZ, C. B.; BAJAY, S. V. **As concorrências públicas e a participação do setor privado na geração e transmissão de energia elétrica.** In: COBEM, 11, 1991, São Paulo. **Anais...**
- MARTINEZ, C. B.; BAJAY, S. V. Níveis de estudo para projetos de PCH's comentários e sugestões. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 6, 1993, Rio de Janeiro. **Anais...**
- MASSON, J. **Estruturas de aproveitamentos hidrelétricos.** Rio de Janeiro: Campus, 1988.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. DNAEE. **Relação das usinas particulares no Estado do Paraná.**
- PÁDUA, J. C. U.; ALVARENGA, M. M.; VARELLA, L. N.; REZENDE, P. F. V. S. **Diretrizes para estudo e projeto de pequena central hidrelétrica.** Rio de Janeiro: ELETROBRÁS, 1988.
- PACORET, E. **Tecniqne de la houille blanche.** Paris: h. Dunod et E. Pinat, 1911. 2 v.
- PECK, R. B.; HANSONN, W.; THORNBUNET, T. H. **Foundation engineering.** USA: John Wiley & Sons, 1953.
- PINTO, A. C. P. Pequenas centrais hidroelétricas. **Electricidade,** Portugal, n.254, p. 57-66, 1990.
- PINTO, A. C. P. Limites económicos dos pequenos aproveitamentos. **Eletricidade,** Portugal, n. 275, p.419-422, 1990.
- PORTO, R. M., **Tópicos de hidráulica aplicada.** São Carlos: USP, 1986.
- RÉMÉNIÉRAS, G. **L'hydrologie de l'ingénieur.** Eyrolles: Paris, 1965.

- SALZARD, J. **Hydraulique appliquée à l'exploitation des usines hydroélectriques**. Dunod: Paris, 1965.
- SANGLERAT, G. **El penetrometro u el reconocimiento de los suelos**. Madrid: Serviço de Publicacion do Ministerio de Obras Publicas, 1967
- SANT'ANA, R. F. **Assessing the feasibility of small hydroelectric power plants**. Fort Collins, 1983. Tese (Doutorado) - Colorado State University.
- SANT'ANA, R. F.; RAMOS, F. Critérios para seleção de potência instalada em pequenas centrais hidrelétricas. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 8, 1986, São Paulo. **Anais...**
- SANTARELLA, L. **La técnica delle foundazion**. Milano: Ulrico Hoepli, 1939.
- SANTOS, A. H. M. **Planejamento de centrais hidrelétricas de pequeno porte**. Campinas, 1987. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas.
- SANTOS, A. H. M.; BAJAY, S. V. Métodos para determinação da motorização em pequenas centrais hidroelétricas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 2, 1984, Rio de Janeiro. **Anais...**
- SANTOS, A. H. M.; COSTA, J. M. M. Alguns efeitos das pequenas centrais hidrelétricas interligadas aos sistemas de distribuição. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 1984, Salvador. **Anais...**
- SANTOS, A. H. M.; MARTINEZ, C. B.; BAJAY, S. V. Uma contribuição ao estudo de custo das PCH's. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 4, 1990, Rio de Janeiro. **Anais...**
- SAS - Statistical Analysis Systems Institute. **User's guide: basics**. 5^a ed. New York, SAS, 1985.
- SCHEREIBER, G. P. **Usinas hidrelétricas**. São Paulo: Edgard Blucher, 1978.
- SILVEIRA, A. F. da. **As variações de temperatura nas barragens**. Lisboa: Ministério de Obras Públicas LENEC, 1961.

- SOCIETE HYDROTECHNIQUE DE FRANCE. **Guide pour la conception, la realisation, la mise en service et l'exploitation des petits aménagements hydro-electriques.** Paris, 1987.
- SOUZA, Z. et alli. **Centrais hidro e termelétricas.** São Paulo: Edgard Blucher, 1983.
- SUGAI, M. R. B. von.; MULLER, F. Vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência no Estado do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS/SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LINGUA OFICIAL PORTUGUESA, 11/2, 1995, Recife. **Anais...** Recife : ABRH, 1995. v.1, p.39-44.
- TCPO 10:** Tabelas de composições de preços para orçamentos. São Paulo: Pini, 1996.
- TENG, W. C. **Foundation design.** New Jersey: Prentice Hall, 1962.
- TSCHEBOTARIOF, G. P. **Soil mechanics, foundations, and strctures.** New York: McGraw-Hill Book, 1953.
- URQUHART, L. C.; O'ROURKE, C. E. **Design of concrete structures.** New York: McGraw-Hill Book, 1940.
- VARLET, H. **Barreges - réservoirs.** Paris: Eyrolles. Paris, 1962.
- VARLET, H. **Turbines hydrauliques et hydro-electricques.** Paris: Eyrolles, 1964.
- WHITE, L.; PRENTS, E. S. **Cofferdans.** New York: Columbia University, 1950.
- XIAOZHANG, Z. **State-of-the-art of small hydropower SHP development in China.** São Paulo: HYDRO 90, 1990.

APÊNDICE

ARRANJO	QUEDA (m)	COMPRIMENTOS (m)		
		CANAL ADUÇÃO	TUBULAÇÃO FORCADA	CANAL DE FUGA
1	5	30,00	10,00	10,00
2	10	50,00	12,00	10,00
3	15	78,00	15,00	10,00
4	20	138,00	35,00	10,00
5	30	225,00	55,00	10,00
6	40	297,00	60,00	10,00
7	50	397,00	65,00	10,00
8	60	477,00	65,00	10,00



PLANTA

ARRANJO GERAL DAS ALTERNATIVAS
MICRO CENTRAL HIDRELÉTRICA
RIO GUARITUBA - CERRADINHO - PONTA GROSSA - PR.

LATITUDE 25°08' S

LONGITUDE 49°54' W

BASE CARTOGRÁFICA

ESCALA : 1 : 5000

APÊNDICE

RESTITUIÇÃO AEROFOTOGRAFÉ-
TRICA DO VÔO 1980 DO
INSTITUTO AMBIENTAL DO
PARANÁ (I. A. P.)

UNIDADE : METRO

DATA : DEZEMBRO/96

DESENHO : ÉLVIO

1

APÊNDICE 2

Estimativa dos Parâmetros e R² dos Modelos de Regressão Ajustados para Micro Centrais Hidrelétricas

Estimativa dos Parâmetros								
Potência (kW)	Modelo	A		B		C		R ²
		Intervalo de Confiança		Intervalo de Confiança		Intervalo de Confiança		
		Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	
		19.8128		0.0904		36.6853		
5	MOD 2	17.6152	22.0104	0.0446	0.1362	22.0086	51.3620	89,20
		22.2377		0.0967		53.3307		
10	MOD 2	18.4064	26.0690	0.0169	0.1765	27.7430	78.9184	86,43
		25.4027		0.0885		61.5340		
15	MOD 2	22.3160	28.4895	0.0242	0.1528	40.9189	82.1491	93,76
		31.4637		0.1000		15.2071		
20	MOD 1	28.1138	34.814	0.0999	1.0000	4.2535	26.1607	73,89
		34.4375		0.1000		22.9702		
30	MOD 1	30.1503	38.7247	0.0999	0.1000	8.9503	36.9902	80,33
		43.0577		0.1000		31.6146		
50	MOD 1	38.0067	48.1087	0.0999	0.1000	15.0964	48.1327	85,50
		49.0110		0.1000		43.0212		
75	MOD 1	43.1993	54.8227	0.0999	0.1000	24.0146	62.0278	89,60
		54.1064		0.1000		53.7238		
100	MOD 1	45.6695	62.5432	0.0999	0.1000	26.1311	81.3166	86,62

onde:

$$\text{MOD 1} = A + C.\exp(-B.H)$$

$$\text{MOD 2} = A + B.H + C/H$$

APÊNDICE 3

Custo para Implantação de Micro Central Hidrelétrica, segundo ELETROBRÁS/DNAEE (1985)

POTÊNCIA (kW)	QUEDA (m)	CUSTO DA CASA DE MÁQUINAS	CUSTO DOS EQUIPAMENTOS	CUSTO DA TUBULAÇÃO FORÇADA	CUSTO DA BARRAGEM E VERTEDOURO	CUSTO DA LINHA DE ALIMENTAÇÃO	S O M A
	5	3786,16	5.445,62	217,50	6.470,71	1.422,95	17.342,94
	7	3786,16	4.188,94	187,92	6.470,71	1.422,95	16.056,68
	10	3786,16	3.770,05	169,65	6.470,71	1.422,95	15.619,52
2	15	3786,16	2.932,26	258,83	6.470,71	1.422,95	14.870,90
	20	3786,16	2.513,37	311,03	6.470,71	1.422,95	14.504,21
	25	3786,16	2.513,37	339,30	6.470,71	1.422,95	14.532,48
	30	3786,16	2.094,47	367,58	6.470,71	1.422,95	14.141,87
	5	3786,16	7.540,10	421,96	6.470,71	1.482,23	19.701,15
	7	3786,16	6.702,31	365,40	6.470,71	1.482,23	18.806,81
	10	3786,16	5.445,62	326,25	6.470,71	1.482,23	17.510,97
5	15	3786,16	4.607,84	517,66	6.470,71	1.482,23	16.864,59
	20	3786,16	4.188,94	622,06	6.470,71	1.482,23	16.550,10
	25	3786,16	3.770,05	548,11	6.470,71	1.482,23	16.057,25
	30	3786,16	3.351,15	480,68	6.470,71	1.482,23	15.570,93
	5	3786,16	10.472,35	687,31	6.470,71	1.611,13	23.027,66
	7	3786,16	9.215,67	595,09	6.470,71	1.611,13	21.678,76
	10	3786,16	7.958,99	541,58	6.470,71	1.611,13	20.368,57
10	15	3786,16	6.702,31	852,61	6.470,71	1.611,13	19.422,91
	20	3786,16	5.864,52	1.028,79	6.470,71	1.611,13	18.761,30
	25	3786,16	5.026,73	913,51	6.470,71	1.611,13	17.808,24
	30	3786,16	4.607,84	819,99	6.470,71	1.611,13	17.295,82
	5	4148,66	12.566,83	939,61	6.470,71	1.740,02	25.865,83
	7	3786,16	11.310,14	814,33	6.470,71	1.740,02	24.121,36
	10	3786,16	9.634,57	730,81	6.470,71	1.740,02	22.362,26
15	15	3786,16	7.958,99	1.172,34	6.470,71	1.740,02	21.128,21
	20	3786,16	7.121,20	1.387,67	6.470,71	1.740,02	20.505,75
	25	3786,16	6.283,41	1.200,62	6.470,71	1.740,02	19.480,91
	30	3786,16	5.864,52	1.102,74	6.470,71	1.740,02	18.964,14
	5	4470,89	14.661,30	1.148,41	6.470,71	1.879,22	28.630,53
	7	4148,66	12.566,83	1.002,25	6.470,71	1.879,22	26.067,67
	10	3786,16	10.891,25	900,46	6.470,71	1.879,22	23.927,80
20	15	3786,16	9.215,67	1.446,39	6.470,71	1.879,22	22.798,15
	20	3786,16	7.958,99	1.698,70	6.470,71	1.879,22	21.793,77
	25	3786,16	7.540,10	1.513,82	6.470,71	1.879,22	21.190,00
	30	3786,16	6.702,31	1.385,49	6.470,71	1.879,22	20.223,88

POTÊNCIA (kW)	QUEDA (m)	CUSTO DA CASA DE MÁQUINAS	CUSTO DOS EQUIPAMENTOS	CUSTO DA TUBULAÇÃO FORÇADA	CUSTO DA BARRAGEM E VERTEDOURO	CUSTO DA LINHA DE ALIMENTAÇÃO	S O M A
	5	5236,18	18.012,45	1.452,92	6.470,71	2.029,56	33.201,81
	7	4470,89	15.499,08	1.346,78	6.470,71	2.029,56	29.817,02
	10	4148,66	12.985,72	1.213,67	6.470,71	2.029,56	26.848,32
30	15	3786,16	11.310,14	1.918,37	6.470,71	2.029,56	25.514,94
	20	3786,16	10.053,46	2.296,83	6.470,71	2.029,56	24.636,71
	25	3786,16	9.215,67	2.009,73	6.470,71	2.029,56	23.511,82
	30	3786,16	8.377,88	1.837,90	6.470,71	2.029,56	22.502,21
	5	5598,68	20.106,92	1.357,22	6.470,71	2.191,92	35.725,45
	7	4833,39	17.593,56	1.628,66	6.470,71	2.191,92	32.718,24
	10	4470,89	15.080,19	1.448,57	6.470,71	2.191,92	29.662,28
40	15	4148,66	12.566,83	2.375,13	6.470,71	2.191,92	27.753,25
	20	3786,16	11.310,14	2.823,19	6.470,71	2.191,92	26.582,11
	25	3786,16	10.053,46	2.479,53	6.470,71	2.191,92	24.981,78
	30	3786,16	9.215,67	2.205,48	6.470,71	2.191,92	23.869,94
	5	6444,53	24.714,76	1.331,12	6.470,71	2.367,28	41.328,39
	7	5598,68	21.363,60	1.597,34	6.470,71	2.367,28	37.397,61
	10	4833,39	18.850,24	1.996,68	6.470,71	2.367,28	34.518,29
60	15	4470,89	15.499,08	3.197,29	6.470,71	2.367,28	32.005,25
	20	4148,66	13.823,51	3.780,20	6.470,71	2.367,28	30.590,36
	25	3786,16	12.147,93	3.340,84	6.470,71	2.367,28	28.112,92
	30	3786,16	11.729,04	3.025,46	6.470,71	2.367,28	27.378,65
	5	6847,31	28.484,80	1.122,31	6.470,71	2.556,66	45.481,79
	7	6444,53	24.714,76	1.346,78	6.470,71	2.556,66	41.533,43
	10	5598,68	21.363,60	1.683,47	6.470,71	2.556,66	37.673,12
80	15	4833,39	18.012,45	3.928,10	6.470,71	2.556,66	35.801,31
	20	4470,89	15.917,98	4.641,51	6.470,71	2.556,66	34.057,74
	25	4148,66	14.242,40	4.123,85	6.470,71	2.556,66	31.542,28
	30	4148,66	12.985,72	3.788,90	6.470,71	2.556,66	29.950,65
	5	7290,37	31.835,96	1.305,02	6.470,71	2.761,19	49.663,24
	7	6847,31	28.065,91	1.566,02	6.470,71	1.611,13	44.561,08
	10	6444,53	23.876,97	1.957,52	6.470,71	2.761,19	41.510,92
100	15	5236,18	20.106,92	4.567,56	6.470,71	2.761,19	39.142,55
	20	4833,39	17.593,56	5.454,97	6.470,71	2.761,19	37.113,82
	25	4470,89	15.917,98	4.854,66	6.470,71	2.761,19	34.475,43
	30	4148,66	14.661,30	4.410,96	6.470,71	2.761,19	32.452,81

APÊNDICE 4

Estimativa dos Parâmetros e R² do Modelo de Regressão Ajustado
para Micro Centrais Hidrelétricas - ELETROBRÁS & DNAEE (1985)

Potência (kW)	Modelo	Estimativa dos Parâmetros						R ²
		A		B		C		
		Intervalo de Confiança Inferior	Intervalo de Confiança Superior	Intervalo de Confiança Inferior	Intervalo de Confiança Superior	Intervalo de Confiança Inferior	Intervalo de Confiança Superior	
		13.7014		0.0996		5.4228		
2	MOD 1	12.5215	14.8813	0.0991	0.1001	2.7448	8.1007	94,40
		15.4477		0.1003		6.7226		
5	MOD 1	14.4845	16.4110	0.1000	0.1006	4.5225	8.9227	97,84
		17.3971		0.1013		9.0079		
10	MOD 1	16.0664	18.7277	0.1010	0.1016	5.9412	12.0746	97,81
		18.6483		0.1002		11.3635		
15	MOD 1	17.3496	19.9469	0.1000	0.1005	8.3985	14.3286	98,61
		19.6561		0.1001		13.7024		
20	MOD 1	17.4892	21.8231	0.0997	0.1004	8.7616	18.6433	97,24
		21.5583		0.0999		17.5956		
30	MOD 1	18.2746	24.8421	0.0995	0.1003	10.1196	25.0715	96,11
		23.5628		0.1003		19.0526		
40	MOD 1	21.0957	26.0299	0.1000	0.1006	13.4181	24.6871	98,26
		26.9825		0.1002		22.3992		
60	MOD 1	23.9328	30.0321	0.1000	0.1005	15.4359	29.3626	98,12
		30.3086		0.1010		23.7714		
80	MOD 1	26.0491	34.5678	0.1006	0.1014	13.9787	33.5641	96,83
		32.6552		0.1017		26.6285		
100	MOD 1	28.1283	37.1820	0.1013	0.1021	16.1598	37.0971	96,91

onde:

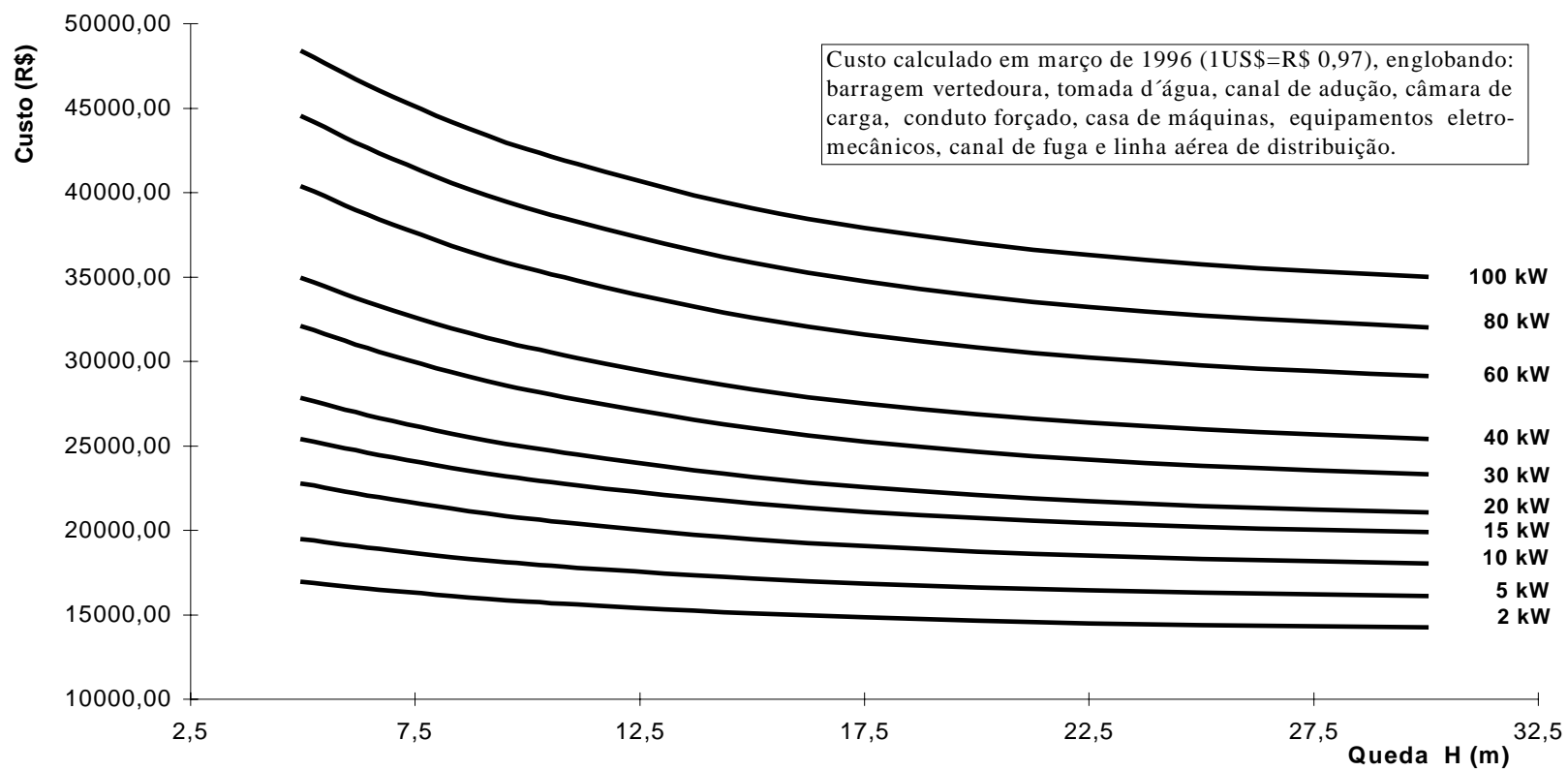
$$\text{MOD 1} = A + C \cdot \exp(-B \cdot H)$$

APÊNDICE 5

CUSTO DE MICRO CENTRAIS HIDRELÉTRICAS EM FUNÇÃO DE POTÊNCIA E QUEDA - ELETROBRÁS & DNAEE (1985)

Ajuste de Modelos de Regressão não Linear

Potências: 2 a 100 kW $\text{Custo} = (A+C.\text{EXP}(-B*H)).1000$



APÊNDICE 6

Custo para Implantação de Micro Central Hidrelétrica, segundo DNAEE/COPEL (1988)

POTÊNCIA (kW)	QUEDA (m)	VAZÃO (m³/s)	BARRAGEM E VERTEDOURO	TOMADA DE ÁGUA	CANAL DE ADUÇÃO	CÂMARA DE CARGA	CONDUTO FORÇADO	CASA DE MÁQUINAS	EQUIPAMENTOS ELETRO MECÂNICOS	CANAL DE FUGA	SUBESTAÇÃO E LINHAS DE TRANSMISSÃO	S O M A (VALORES EM US\$)	S O M A (VALORES EM R\$)
	5	0,15	6.750,00	7.161,54	706,77	448,36	644,25	15.494,97	8.287,95	223,81	624,00	40.341,66	39.736,53
	10	0,07	6.750,00	6.833,54	1.049,01	399,27	492,01	15.297,15	6.156,10	200,51	624,00	37.801,58	37.234,56
	15	0,05	6.750,00	6.724,53	1.550,58	383,09	447,40	15.249,26	5.173,24	190,50	624,00	37.092,60	36.536,21
5	20	0,04	6.750,00	6.670,09	2.655,48	375,04	1.043,94	15.237,84	4.572,60	184,70	624,00	38.113,69	37.541,98
	30	0,02	6.750,00	6.615,68	4.153,71	367,00	1.640,47	15.243,37	3.842,56	177,56	624,00	39.414,36	38.823,14
	40	0,02	6.750,00	6.588,50	5.371,77	362,99	1.163,75	15.243,37	3.396,42	174,13	624,00	39.674,93	39.079,80
	50	0,01	6.750,00	6.572,19	7.052,46	360,59	1.260,72	15.273,08	3.086,36	171,18	624,00	41.150,58	40.533,32
	60	0,01	6.750,00	6.561,32	8.379,30	358,99	1.260,72	15.273,08	2.854,16	169,36	624,00	42.230,93	41.597,47
	5	0,29	6.750,00	7.821,91	860,97	548,96	946,47	15.644,90	11.583,63	270,89	624,00	45.051,74	44.375,96
	10	0,15	6.750,00	7.161,54	1.177,95	448,36	623,43	15.297,15	8.604,05	223,81	624,00	40.910,29	40.296,63
	15	0,10	6.750,00	6.942,71	1.709,55	415,54	615,01	15.249,26	7.230,36	209,00	624,00	39.745,42	39.149,24
10	20	0,07	6.750,00	6.833,54	2.895,27	399,27	1.435,02	15.249,26	6.390,88	200,51	624,00	40.777,75	40.166,08
	30	0,05	6.750,00	6.724,53	4.472,82	383,09	2.255,03	15.237,84	5.370,54	190,50	624,00	42.008,36	41.378,23
	40	0,04	6.750,00	6.670,09	5.715,06	375,04	1.789,61	15.243,37	4.747,00	184,70	624,00	42.098,86	41.467,38
	50	0,03	6.750,00	6.637,44	7.484,51	370,21	1.938,74	15.243,37	4.313,65	181,14	624,00	43.543,06	42.889,92
	60	0,02	6.750,00	6.615,68	8.805,87	367,00	1.260,72	15.243,37	3.989,11	177,56	624,00	43.833,31	43.175,81
	5	0,44	6.750,00	8.488,13	988,01	652,80	946,47	15.828,85	14.089,54	309,46	624,00	48.677,26	47.947,10
	10	0,22	6.750,00	7.491,00	1.310,87	498,25	773,10	15.379,06	10.465,38	248,15	624,00	43.539,80	42.886,70
	15	0,15	6.750,00	7.161,54	1.837,60	448,36	779,28	15.297,15	8.794,51	223,81	624,00	41.916,26	41.287,52
15	20	0,11	6.750,00	6.997,36	3.083,60	423,71	1.818,33	15.249,26	7.773,44	212,87	624,00	42.932,55	42.288,57
	30	0,07	6.750,00	6.833,54	4.720,54	399,27	2.255,03	15.249,26	6.532,36	200,51	624,00	43.564,51	42.911,04
	40	0,06	6.750,00	6.751,77	6.001,70	387,13	2.460,03	15.237,84	5.773,93	193,49	624,00	44.179,89	43.517,19
	50	0,04	6.750,00	6.702,75	7.813,36	379,87	1.938,74	15.243,37	5.246,83	188,70	624,00	44.887,62	44.214,30
	60	0,04	6.750,00	6.670,09	9.178,73	375,04	1.938,74	15.243,37	4.852,08	184,70	624,00	45.816,75	45.129,50
	5	0,59	6.750,00	9.160,18	1.091,12	759,89	1.312,34	16.046,80	16.189,83	340,57	14.530,85	66.181,58	65.188,85
	10	0,29	6.750,00	7.821,91	1.441,01	548,96	931,69	15.494,97	12.025,42	272,00	14.530,85	59.816,82	58.919,56
	15	0,20	6.750,00	7.381,01	1.971,33	481,53	966,38	15.297,15	10.105,49	239,47	14.530,85	57.723,21	56.857,36
20	20	0,15	6.750,00	7.161,54	3.251,15	448,36	2.254,88	15.297,15	8.932,20	223,81	14.530,85	58.849,93	57.967,18
	30	0,10	6.750,00	6.942,71	4.931,39	415,54	2.857,38	15.249,26	7.506,12	209,00	14.530,85	59.392,24	58.501,36
	40	0,07	6.750,00	6.833,54	6.001,70	399,27	2.460,03	15.249,26	6.634,63	193,49	14.530,85	59.052,77	58.166,98
	50	0,06	6.750,00	6.768,11	8.075,08	389,55	2.665,04	15.237,84	6.028,96	194,70	14.530,85	60.640,13	59.730,53
	60	0,05	6.750,00	6.724,53	9.482,38	383,09	1.938,74	15.237,84	5.575,37	190,50	14.530,85	60.813,30	59.901,10

APÊNDICE 6

Custo para Implantação de Micro Central Hidrelétrica, segundo DNAEE/COPEL (1988) - (continuação)

POTÊNCIA (kW)	QUEDA (m)	VAZÃO (m³/s)	BARRAGEM E VERTEDOURO	TOMADA DE ÁGUA	CANAL DE ADUÇÃO	CÂMARA DE CARGA	CONDUTO FORÇADO	CASA DE MÁQUINAS	EQUIPAMENTOS ELÉTRICO MECÂNICOS	CANAL DE FUGA	SUBESTAÇÃO E LINHAS DE TRANSMISSÃO	S O M A (VALORES EM US\$)	S O M A (VALORES EM R\$)
	5	0,88	6.750,00	10.521,81	1.264,86	2.988,61	1.730,35	16.584,74	19.692,20	392,61	15.616,04	75.541,24	74.408,12
	10	0,44	6.750,00	8.488,13	1.653,25	1.330,14	1.135,77	15.644,90	14.626,90	310,65	15.616,04	65.555,79	64.572,45
	15	0,29	6.750,00	7.821,91	2.247,98	828,40	1.164,61	15.379,06	12.291,62	272,00	15.616,04	62.371,62	61.436,05
30	20	0,22	6.750,00	7.491,00	3.618,00	592,00	2.717,42	15.297,15	10.864,52	248,15	15.616,04	63.194,28	62.246,37
	30	0,15	6.750,00	7.161,54	5.300,78	368,69	3.543,38	15.297,15	9.129,93	223,81	15.616,04	63.391,33	62.440,46
	40	0,11	6.750,00	6.997,36	6.636,43	263,48	3.117,14	15.249,26	8.069,91	212,87	15.616,04	62.912,48	61.968,80
	50	0,09	6.750,00	6.899,02	8.596,13	203,03	2.665,04	15.249,26	7.333,21	206,61	15.616,04	63.518,34	62.565,56
	60	0,07	6.750,00	6.833,54	9.639,09	164,09	2.665,04	15.249,26	6.781,50	193,49	15.616,04	63.892,05	62.933,67
	5	1,47	6.750,00	13.315,13	1.532,75	5.427,08	2.200,50	17.258,74	25.202,71	472,04	17.186,63	89.345,57	88.005,39
	10	0,74	6.750,00	9.838,08	1.971,15	2.415,42	1.574,81	15.828,85	18.719,98	368,05	17.186,63	74.652,97	73.533,18
	15	0,49	6.750,00	8.711,50	2.675,81	1.504,31	1.419,71	15.644,90	15.731,21	321,89	17.186,63	69.945,97	68.896,78
50	20	0,37	6.750,00	8.154,29	4.285,06	1.075,03	3.312,66	15.494,97	13.904,76	292,35	17.186,63	70.455,75	69.398,92
	30	0,25	6.750,00	7.601,14	6.091,85	669,52	4.270,23	15.379,06	11.684,78	256,02	17.186,63	69.889,22	68.840,88
	40	0,18	6.750,00	7.326,08	7.288,31	478,46	3.865,51	15.297,15	10.328,13	232,63	17.186,63	68.752,90	67.721,61
	50	0,15	6.750,00	7.161,54	9.352,94	368,69	3.376,90	15.297,15	9.385,28	223,81	17.186,63	69.102,95	68.066,40
	60	0,12	6.750,00	7.052,04	10.878,05	297,98	3.376,90	15.249,26	8.679,18	217,02	17.186,63	69.687,06	68.641,76
	5	2,21	6.750,00	16.938,16	1.827,04	8.714,11	2.722,79	18.068,78	30.654,86	557,99	18.619,11	104.852,84	103.280,05
	10	1,10	6.750,00	11.558,36	2.298,04	3.878,38	2.076,42	16.584,74	22.769,71	426,52	18.619,11	84.961,27	83.686,85
	15	0,74	6.750,00	9.838,08	3.074,99	2.415,42	1.968,51	15.828,85	19.134,38	368,05	18.619,11	77.997,39	76.827,43
75	20	0,55	6.750,00	8.991,62	4.924,80	1.726,14	4.593,20	15.644,90	16.912,80	334,39	18.619,11	78.496,97	77.319,52
	30	0,37	6.750,00	8.154,29	6.986,51	1.075,03	5.205,61	15.494,97	14.212,56	292,35	18.619,11	76.790,43	75.638,58
	40	0,28	6.750,00	7.739,05	8.391,50	768,25	4.658,44	15.379,06	12.562,43	266,82	18.619,11	75.134,65	74.007,63
	50	0,22	6.750,00	7.491,00	10.408,31	592,00	4.187,63	15.297,15	11.415,62	248,15	18.619,11	75.008,96	73.883,82
	60	0,18	6.750,00	7.326,08	11.705,47	478,46	4.187,63	15.297,15	10.556,76	232,63	18.619,11	75.153,29	74.025,99
	5	2,94	6.750,00	20.707,17	2.095,47	12.193,79	3.297,22	19.014,86	35.224,49	635,36	19.749,08	119.667,46	117.872,44
	10	1,47	6.750,00	13.315,13	2.554,58	5.427,08	2.640,60	16.584,74	26.163,92	472,04	19.749,08	93.657,17	92.252,31
	15	0,98	6.750,00	10.980,88	3.415,73	3.379,94	1.968,51	16.046,80	21.986,68	407,18	19.749,08	84.684,80	83.414,53
100	20	0,74	6.750,00	9.838,08	5.440,37	2.415,42	4.593,20	15.828,85	19.433,95	368,05	19.749,08	84.416,99	83.150,74
	30	0,49	6.750,00	8.711,50	7.718,68	1.504,31	7.217,88	15.494,97	16.331,19	321,89	19.749,08	83.799,51	82.542,51
	40	0,37	6.750,00	8.154,29	9.222,20	1.075,03	5.678,85	15.494,97	14.435,08	292,35	19.749,08	80.851,84	79.639,06
	50	0,29	6.750,00	7.821,91	11.441,66	828,40	5.046,64	15.379,06	13.117,31	272,00	19.749,08	80.406,05	79.199,96
	60	0,25	6.750,00	7.601,14	12.914,72	669,52	4.187,63	15.379,06	12.130,42	256,02	19.749,08	79.637,59	78.443,02

APÊNDICE 7

Estimativa dos Parâmetros e R² dos Modelos de Regressão Ajustados para Micro Centrais Hidrelétricas - DNAEE & COPEL (1988)

Potência (kW)	Modelo	Estimativa dos Parâmetros						R ²
		A		B		C		
		Intervalo de Confiança Inferior	Superior	Intervalo de Confiança Inferior	Superior	Intervalo de Confiança Inferior	Superior	
		33.1304		0.1356		29.0066		
5	MOD 2	31.4989	34.7620	0.1017	0.1696	18.1100	39.9031	95,62
		35.2317		0.1302		41.2422		
10	MOD 2	32.7948	37.6686	0.0794	0.1810	24.9675	57.5169	90,59
		36.6026		0.1329		52.3630		
15	MOD 2	34.5461	38.6590	0.0901	0.1757	38.6290	66.0971	95,06
		51.7122		0.1275		62.9429		
20	MOD 2	48.9411	54.4833	0.0698	0.1852	44.4359	81.4498	94,13
		54.3871		0.1252		95.1574		
30	MOD 2	51.0565	57.7177	0.0558	0.1945	72.9141	117.4008	97,02
		58.9741		0.1294		139.8314		
50	MOD 2	55.0950	62.8533	0.0486	0.2102	113.9243	165.7386	98,43
		64.2495		0.1200		189.7111		
75	MOD 2	59.3541	69.1448	0.0180	0.2220	157.0175	222.4047	98,82
		73.6063		---		210.4189		
100	MOD 2*	70.3886	76.8239	---	---	173.0645	247.7734	96,94

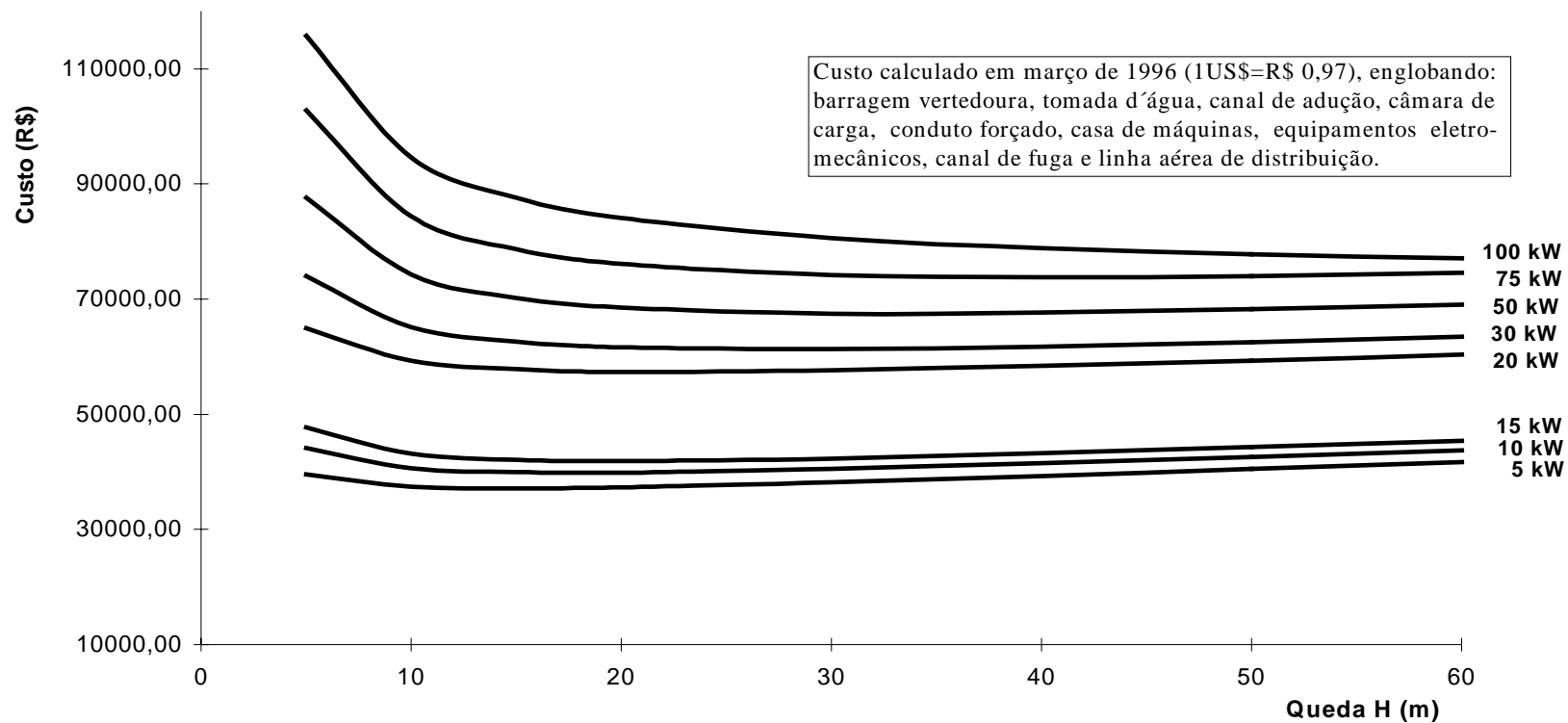
onde:

$$\text{MOD 2} = A + B.H + C/H$$

$$\text{MOD2*} = A + C/H$$

APÊNDICE 8

**CUSTO DE MICRO CENTRAIS HIDRELÉTRICAS EM FUNÇÃO
DE POTÊNCIA E QUEDA - DNAEE & COPEL (1988)**
Ajuste de Modelos de Regressão não-Linear
Potências: 5,10,15,20,30,50 e 75 kW $\text{Custo} = (A + B.H + C/H).1000$
Potência: 100 kW $\text{Custo} = (A + C/H).1000$



APÊNDICE 9

Custo para Implantação de Micro Central Hidrelétrica, segundo MARTINEZ (1994)

POTÊNCIA (kW)	QUEDA (m)	VAZÃO (m³/s)	BARRAGEM E VERTEDOURO	TOMADA DE ÁGUA	CANAL DE ADUÇÃO	CÂMARA DE CARGA	CONDUTO FORÇADO	CASA DE MÁQUINAS	EQUIPAMENTOS ELÉTRICO MECÂNICOS	CANAL DE FUGA	SUBESTAÇÃO E LINHAS DE TRANSMISSÃO	S O M A (VALORES EM US\$)	S O M A (VALORES EM R\$)
	5	0,15	13.314,49	1.022,32	1.678,03	368,69	184,99	1.092,17	688,11	134,46	3.159,40	21.642,66	21.318,02
	10	0,07	13.314,49	575,88	1.911,40	164,09	109,16	1.092,17	688,11	77,03	3.159,40	21.091,74	20.775,36
	15	0,05	13.314,49	411,65	2.386,63	102,20	90,09	1.092,17	688,11	55,61	3.159,40	21.300,34	20.980,84
5	20	0,04	13.314,49	324,40	3.605,51	73,03	156,57	1.092,17	688,11	44,13	3.159,40	22.457,80	22.120,93
	30	0,02	13.314,49	231,89	4.705,20	45,48	162,44	1.092,17	688,11	31,86	3.159,40	23.431,03	23.079,56
	40	0,02	13.314,49	182,74	5.303,32	32,50	131,99	1.092,17	688,11	25,28	3.159,40	23.930,00	23.571,05
	50	0,01	13.314,49	151,91	6.271,46	25,05	113,78	1.092,17	688,11	21,13	3.159,40	24.837,49	24.464,93
	60	0,01	13.314,49	130,62	6.817,39	20,24	94,40	1.092,17	688,11	18,25	3.159,40	25.335,08	24.955,05
	5	0,29	13.314,49	1.814,84	2.455,25	828,40	376,19	1.801,49	1.466,47	234,71	3.365,86	25.657,69	25.272,83
	10	0,15	13.314,49	1.022,32	2.796,72	368,69	221,99	1.801,49	1.466,47	134,46	3.365,86	24.492,49	24.125,10
	15	0,10	13.314,49	730,77	3.492,06	229,62	183,20	1.801,49	1.466,47	97,07	3.365,86	24.681,03	24.310,81
10	20	0,07	13.314,49	575,88	5.275,48	164,09	318,39	1.801,49	1.466,47	77,03	3.365,86	26.359,19	25.963,80
	30	0,05	13.314,49	411,65	6.884,52	102,20	330,32	1.801,49	1.466,47	55,61	3.365,86	27.732,61	27.316,62
	40	0,04	13.314,49	324,40	7.759,68	73,03	268,40	1.801,49	1.466,47	44,13	3.365,86	28.417,95	27.991,68
	50	0,03	13.314,49	269,67	9.176,23	56,28	231,37	1.801,49	1.466,47	36,88	3.365,86	29.718,75	29.272,97
	60	0,02	13.314,49	231,89	9.975,02	45,48	191,97	1.801,49	1.466,47	31,86	3.365,86	30.424,53	29.968,16
	5	0,44	13.314,49	2.538,88	3.067,52	1.330,14	569,80	2.414,18	2.286,07	325,13	3.493,25	29.339,45	28.899,36
	10	0,22	13.314,49	1.430,18	3.494,14	592,00	336,24	2.414,18	2.286,07	186,26	3.493,25	27.546,80	27.133,60
	15	0,15	13.314,49	1.022,32	4.362,88	368,69	277,48	2.414,18	2.286,07	134,46	3.493,25	27.673,82	27.258,72
15	20	0,11	13.314,49	805,63	6.591,03	263,48	482,26	2.414,18	2.286,07	106,70	3.493,25	29.757,10	29.310,74
	30	0,07	13.314,49	575,88	8.601,32	164,09	500,33	2.414,18	2.286,07	77,03	3.493,25	31.426,65	30.955,25
	40	0,06	13.314,49	453,82	9.694,72	117,27	406,54	2.414,18	2.286,07	61,13	3.493,25	32.241,47	31.757,85
	50	0,04	13.314,49	377,26	11.464,52	90,36	350,46	2.414,18	2.286,07	51,09	3.493,25	33.841,69	33.334,06
	60	0,04	13.314,49	324,40	12.462,51	73,03	290,77	2.414,18	2.286,07	44,13	3.493,25	34.702,83	34.182,29
	5	0,59	13.314,49	3.221,75	3.592,45	1.861,28	764,99	2.971,50	3.134,59	409,70	3.590,13	32.860,88	32.367,96
	10	0,29	13.314,49	1.814,84	4.092,08	828,40	451,42	2.971,50	3.134,59	234,71	3.590,13	30.432,15	29.975,67
	15	0,20	13.314,49	1.297,28	5.109,48	515,92	372,54	2.971,50	3.134,59	169,44	3.590,13	30.475,37	30.018,24
20	20	0,15	13.314,49	1.022,32	7.718,93	368,69	647,46	2.971,50	3.134,59	134,46	3.590,13	32.902,57	32.409,04
	30	0,10	13.314,49	730,77	10.073,24	229,62	671,73	2.971,50	3.134,59	97,07	3.590,13	34.813,13	34.290,93
	40	0,07	13.314,49	575,88	11.353,74	164,09	545,81	2.971,50	3.134,59	77,03	3.590,13	35.727,27	35.191,36
	50	0,06	13.314,49	478,73	13.426,41	126,45	470,51	2.971,50	3.134,59	64,38	3.590,13	37.577,19	37.013,53
	60	0,05	13.314,49	411,65	14.595,18	102,20	390,38	2.971,50	3.134,59	55,61	3.590,13	38.565,72	37.987,23

APÊNDICE 9

Custo para Implantação de Micro Central Hidrelétrica, segundo MARTINEZ (1994) - (continuação)

POTÊNCIA (kW)	QUEDA (m)	VAZÃO (m³/s)	BARRAGEM E VERTEDOURO	TOMADA DE ÁGUA	CANAL DE ADUÇÃO	CÂMARA DE CARGA	CONDUTO FORÇADO	CASA DE MÁQUINAS	EQUIPAMENTOS ELÉTRICO MECÂNICOS	CANAL DE FUGA	SUBESTAÇÃO E LINHAS DE TRANSMISSÃO	S O M A (VALOR EM US\$)	S O M A (VALOR EM R\$)
	5	0,88	13.314,49	4.507,08	4.488,30	2.988,61	1.158,71	3.982,12	4.895,85	567,53	3.744,40	39.647,08	39.052,38
	10	0,44	13.314,49	2.538,88	5.112,53	1.330,14	683,76	3.982,12	4.895,85	325,13	3.744,40	35.927,28	35.388,37
	15	0,29	13.314,49	1.814,84	6.383,64	828,40	564,28	3.982,12	4.895,85	234,71	3.744,40	35.762,72	35.226,28
30	20	0,22	13.314,49	1.430,18	9.643,82	592,00	980,69	3.982,12	4.895,85	186,26	3.744,40	38.769,80	38.188,25
	30	0,15	13.314,49	1.022,32	12.585,22	368,69	1.017,44	3.982,12	4.895,85	134,46	3.744,40	41.064,98	40.449,01
	40	0,11	13.314,49	805,63	14.185,05	263,48	826,73	3.982,12	4.895,85	106,70	3.744,40	42.124,44	41.492,58
	50	0,09	13.314,49	669,72	16.774,58	203,03	712,67	3.982,12	4.895,85	89,18	3.744,40	44.386,04	43.720,25
	60	0,07	13.314,49	575,88	18.234,80	164,09	591,30	3.982,12	4.895,85	77,03	3.744,40	45.579,95	44.896,26
	5	1,47	13.314,49	6.879,96	5.941,55	5.427,08	1.955,00	5.758,22	8.601,25	855,64	4.001,15	52.734,34	51.943,33
	10	0,74	13.314,49	3.875,55	6.767,88	2.415,42	1.153,65	5.758,22	8.601,25	490,18	4.001,15	46.377,80	45.682,13
	15	0,49	13.314,49	2.770,32	8.450,56	1.504,31	952,06	5.758,22	8.601,25	353,86	4.001,15	45.706,23	45.020,63
50	20	0,37	13.314,49	2.183,13	12.766,33	1.075,03	1.654,65	5.758,22	8.601,25	280,81	4.001,15	49.635,08	48.890,55
	30	0,25	13.314,49	1.560,55	16.660,11	669,52	1.716,66	5.758,22	8.601,25	202,72	4.001,15	52.484,67	51.697,40
	40	0,18	13.314,49	1.229,78	18.777,94	478,46	1.394,87	5.758,22	8.601,25	160,87	4.001,15	53.717,05	52.911,29
	50	0,15	13.314,49	1.022,32	22.205,92	368,69	1.202,43	5.758,22	8.601,25	134,46	4.001,15	56.608,94	55.759,81
	60	0,12	13.314,49	879,07	24.138,94	297,98	997,65	5.758,22	8.601,25	116,13	4.001,15	58.104,90	57.233,32
	5	2,21	13.314,49	9.624,75	7.423,20	8.714,11	2.961,18	7.716,61	13.473,37	1.185,27	4.314,44	68.727,42	67.696,51
	10	1,10	13.314,49	5.421,71	8.455,60	3.878,38	1.747,40	7.716,61	13.473,37	679,01	4.314,44	59.001,01	58.116,00
	15	0,74	13.314,49	3.875,55	10.557,89	2.415,42	1.442,06	7.716,61	13.473,37	490,18	4.314,44	57.600,02	56.736,02
75	20	0,55	13.314,49	3.054,10	15.949,90	1.726,14	2.506,25	7.716,61	13.473,37	388,99	4.314,44	62.444,30	61.507,63
	30	0,37	13.314,49	2.183,13	20.814,67	1.075,03	2.600,16	7.716,61	13.473,37	280,81	4.314,44	65.772,73	64.786,14
	40	0,28	13.314,49	1.720,41	23.460,63	768,25	2.112,77	7.716,61	13.473,37	222,84	4.314,44	67.103,82	66.097,26
	50	0,22	13.314,49	1.430,18	27.743,45	592,00	1.821,29	7.716,61	13.473,37	186,26	4.314,44	70.592,09	69.533,21
	60	0,18	13.314,49	1.229,78	30.158,51	478,46	1.511,11	7.716,61	13.473,37	160,87	4.314,44	72.357,65	71.272,29
	5	2,94	13.314,49	12.213,46	8.693,51	12.193,79	3.975,60	9.498,00	18.541,76	1.493,58	4.655,07	84.579,25	83.310,56
	10	1,47	13.314,49	6.879,96	9.902,58	5.427,08	2.346,00	9.498,00	18.541,76	855,64	4.655,07	71.420,57	70.349,26
	15	0,98	13.314,49	4.917,93	12.364,63	3.379,94	1.936,07	9.498,00	18.541,76	617,68	4.655,07	69.225,57	68.187,19
100	20	0,74	13.314,49	3.875,55	18.679,35	2.415,42	3.364,81	9.498,00	18.541,76	490,18	4.655,07	74.834,62	73.712,10
	30	0,49	13.314,49	2.770,32	24.376,62	1.504,31	3.490,90	9.498,00	18.541,76	353,86	4.655,07	78.505,32	77.327,74
	40	0,37	13.314,49	2.183,13	27.475,37	1.075,03	2.836,54	9.498,00	18.541,76	280,81	4.655,07	79.860,20	78.662,30
	50	0,29	13.314,49	1.814,84	32.491,09	828,40	2.445,21	9.498,00	18.541,76	234,71	4.655,07	83.823,56	82.566,21
	60	0,25	13.314,49	1.560,55	35.319,44	669,52	2.028,78	9.498,00	18.541,76	202,72	4.655,07	85.790,31	84.503,45

APÊNDICE 10

Estimativa dos Parâmetros e R² dos Modelos de Regressão Ajustados
para Micro Centrais Hidrelétricas - MARTINEZ (1994)

Potência (kw)	Modelo	Estimativa dos Parâmetros						R ²
		A		B		C		
		Intervalo de Confiança Inferior	Superior	Intervalo de Confiança Inferior	Superior	Intervalo de Confiança Inferior	Superior	
		20.3912		0.0788		---		
5	MOD 3	19.8612	20.9212	0.0633	0.0944	---	---	93,70
		23.6945		0.1072		---		
10	MOD 3	22.8057	24.5833	0.0812	0.1332	---	---	90,68
		26.7189		0.1264		---		
15	MOD 3	25.4859	27.9518	0.0904	0.1625	---	---	87,48
		29.6103		0.1407		---		
20	MOD 3	28.0380	31.1826	0.0948	0.1867	---	---	84,10
		30.8451		0.2398		32.2596		
30	MOD 2	26.3702	35.3201	0.1465	0.3330	2.3737	62.1456	92,19
		38.4501		0.3177		55.6411		
50	MOD 2	32.2162	44.6840	0.1878	0.4475	14.0077	97.2745	90,10
		47.5618		0.3975		85.6334		
75	MOD 2	39.3860	55.7379	0.2272	0.5679	31.0289	140.2378	88,16
		56.4829		0.4664		116.2551		
100	MOD 2	46.5239	66.4419	0.2589	0.6739	49.7436	182.7666	86,98

onde:

$$\text{MOD 2} = A + B.H + C/H$$

$$\text{MOD } 3 = A + B.H$$

APÊNDICE 11

CUSTO DE MICRO CENTRAIS HIDRELÉTRICAS EM FUNÇÃO DE POTÊNCIA E QUEDA - MARTINEZ (1994)

Ajuste de Modelos de Regressão Linear e não-Linear

Potências: 5,10,15 e 20 kW $\text{Custo} = (A + B.H).1000$

Potências: 30,50,75 e 100 kW $\text{Custo} = (A + B.H + C/H).1000$

