

**PROGRAMA COMPUTACIONAL
PARA A VIABILIDADE TÉCNICA E
ECONÔMICA DE MICROCENTRAIS
HIDROELÉTRICAS EM
PROPRIEDADES RURAIS**

MANUAL DO USUÁRIO

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	ANTES DE COMEÇAR	9
3	COMO UTILIZAR O PROGRAMA	10
4	CONCEBENDO O PROJETO	13
5	ESTUDOS TOPOGRÁFICOS	14
5.1	Determinação da queda	15
5.2	Determinação da área da bacia	16
6	ESTUDOS HIDROLÓGICOS	18
6.1	Hidrologia para o Estado de São Paulo	19
6.2	Utilizando os dados da ANA- Agencia Nacional de Águas	22
6.3	Utilizando outros dados hidrológicos	23
6.4	Medidas de vazão	24
6.5	Transformação dos dados de chuva em dados de vazão	24
6.6	Estimativa das vazões garantidas mês a mês.	26
7	ESTUDOS HIDROENERGÉTICOS	27
7.1	Produção de energia	37
7.2	Visualização gráfica dos cálculos de produção e consumo de energia	40
8	RESERVATÓRIO	45
9	TOMADA D'ÁGUA	49
10	BARRAGEM	52
10.1	Barragem de terra	55
10.2	Barragem de concreto ou alvenaria de pedra	56
10.3	Barragem Ambursen	57
11	CANAL DE ADUÇÃO	57
11.1	Visão geral	57
11.2	Preenchimento da planilha	58

11.3	Cálculo de quantidades no canal de adução	60
12	TUBULAÇÃO DE BAIXA PRESSÃO	67
13	TUBULAÇÃO DE ALTA PRESSÃO OU FORÇADA	72
14	TURBINA, GERADOR E REGULADOR DE VELOCIDADE	77
14.1	Uma escolha tecnológica	77
14.2	Sincronização e multiplicadores de velocidade	81
14.3	Reguladores de velocidade	83
14.4	Escolha do tipo de turbinas	84
14.5	Bombas funcionando como turbinas (BFT's)	90
14.6	Geradores	92
14.7	Preços dos equipamentos	93
14.8	Operação do programa	96
15	CASA DE FORÇA	98
15.1	Dimensões da casa de força	99
15.2	Obras civis da casa de força	102
16	VERTEDOURO	105
17	LINHA DE TRANSMISSÃO	110
18	ORÇAMENTO	112
18.1	Definições e dicas	112
18.2	Onde obter listas de custos e preços	114
18.3	Operando o programa	114
19	AVALIAÇÃO ECONÔMICA	116
20	ESTUDO DE ALTERNATIVAS	119
21	NEM TUDO É DINHEIRO	120

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1- Níveis de precisão na concepção, viabilidade e projeto de Hidroelétricas
- Figura 2- A pasta 1 está ativada. Para ativar a pasta 2, clicar sobre a “orelha” correspondente, abaixo à esquerda
- Figura 3- Recursos do programa
- Figura 4- Exemplo de escolha do valor mais preciso
- Figura 5- Área de drenagem
- Figura 6- Exemplo de cálculo de área de bacia de drenagem
- Figura 7- Área do triângulo
- Figura 8- Tela de entrada Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo: pesquisa através de interface gráfica
- Figura 9- Exemplo de gráfico de pluviometria (chuvas) médias, do software SIGRH.
- Figura 10- Exemplo de entrada de dados na pasta “Estudos Energéticos”
- Figura 11- Exemplo de consumo de água não regularizável
- Figura 12- Exemplo de usina com “sobra” de água
- Figura 13- Consumo de energia excedendo a produção possível em uma época do ano (rendimento da turbina e gerador= 70%)
- Figura 14- O mesmo caso da figura 13, trocando a máquina de baixo rendimento por outra mais eficiente
- Figura 15- Exemplo de exploração completa de um aproveitamento. Quase não há sobra de energia em nenhum mês do ano.
- Figura 16- Volume morto x volume útil
- Figura 17- Vale fechado e principais elementos geométricos do reservatório
- Figura 18 Exemplo de determinação da profundidade da tomada d’água Hta em relação à crista do vertedor.

- Figura 19- Exemplo de barragem com vertedouro.
- Figura 20- Esquema de posição de tomada d'água em barragem de terra-
vista de frente
- Figura 21- Comporta “de mão”
- Figura 22- Transporte de material com mulas em local de difícil acesso
- Figura 23- Dimensões do canal de adução
- Figura 24- Esquemas comuns para o canal de adução
- Figura 25- Exemplos de área adicional no cálculo do volume de escavação
do canal (vista lateral e seção)
- Figura 26- Escavação adicional e mínima em canal à meia encosta
- Figura 27- Canal de adução recoberto com laje
- Figura 28- Dano à encosta abaixo do canal de adução mostrado na figura 27,
pela obstrução por um pequeno deslizamento de terra.
- Figura 29- Contenção na encosta ao longo de um canal . Sacos de solo
cimento contidos com cantoneiras metálicas
- Figura 30- Contenção em solo grampeado; esquema de construção e foto de
uma encosta tratada.
- Figura 31- Instalação de tubo de PRFV em um local de difícil acesso
- Figura 32- Exemplo do desnível a ser aplicado no cálculo da tubulação de
baixa pressão.
- Figura 33- A queda bruta é maior que o desnível da tubulação de baixa
pressão
- Figura 34- Tubulação rompida por excesso de pressão.
- Figura 35- “Murchamento” da tubulação forçada por pressão externa.
- Figura 36- Gharat de madeira
- Figura 37- Dínamo “de bicicleta” acoplado à pedra de moinho do Gharat de
madeira

- Figura 38- Gharat modernizado com injetor e rotor metálico
- Figura 39- Pequeno rotor de fluxo cruzado substituindo o rotor de madeira
- Figura 40- O sistema resultante permite cambiar força motriz e geração elétrica
- Figura 41- Kits de turbina e gerador prontos para montagem
- Figura 42- Exemplo de regulador de velocidade com atuação hidráulica
- Figura 43- Exemplo de micro-turbina Turgo.
- Figura 44- Rotor tipo Francis e Conjunto turbina/gerador com multiplicador de velocidade por correias
- Figura 45- Seleção do tipo de turbina conforme a rotação específica
- Figura 46- Ábaco para determinação do diâmetro do rotor.
- Figura 47- Faixa de rendimentos típica para diversos tipos de turbinas
- Figura 48- Algumas variações de montagem de turbinas Kaplan
- Figura 49- Posição da casa de força em relação ao rio
- Figura 50- Exemplo de posição de canal de fuga
- Figura 51- Exemplo de proteção da encostas laterais da barragem
- Figura 52- Exemplo de ruptura de barragem de terra
- Figura 53- Sugestão para localização de vertedouro em barragem de terra
- Figura 54- Exemplo de canal revestido parcialmente

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1- Estimativa para corrigir vazões
- Tabela 2- Consumo típico de alguns equipamentos domésticos
- Tabela 3- Carga típica de iluminação de alguns
- Tabela 4- Potência de equipamentos utilizados em oficinas
- Tabela 5 - Potência necessária para moer alguns produtos em moinhos de martelo
- Tabela 6- Potência necessária para movimentar picadeira/ensiladeira, conforme a produção
- Tabela 7- Potência necessária para movimentar o conjunto triturador/picador/desintegrador, conforme a o produto e a produção.
- Tabela 8 - Potência necessária para movimentar misturadoras de ração, conforme a capacidade de produção.
- Tabela 9- Potência necessária para resfriadores de leite, conforme a capacidade.
- Tabela 10- Potência necessária para outros equipamentos, conforme a capacidade.
- Tabela 11- Potência necessária para outros equipamentos de beneficiamento, conforme a capacidade.
- Tabela 12- Sugestão para a escolha do tipo da barragem em microcentrais hidroelétricas- até 5 metros de altura
- Tabela 13- Velocidades suportadas por diversos materiais
- Tabela 14- Inclinação “m” das paredes do canal
- Tabela 15- Rugosidades para diversos materiais.
- Tabela 16- Guia de referência para adutoras plásticas
- Tabela 17- Velocidades típicas para diversos tipos de turbinas
- Tabela 18- Valores típicos de rendimento mecânico em multiplicadores de velocidade
- Tabela 19- Rendimentos típicos de turbinas conforme tipo e porte
- Tabela 21- Preços de equipamentos eletromecânicos (US\$)
- Tabela 22- Alguns fornecedores de equipamentos para MCH's e PCH's
- Tabela 23- Sugestão para valores de BDI

1 INTRODUÇÃO

O programa tem como finalidade ajudar interessados em construir microcentrais hidroelétricas a conceber o aproveitamento e determinar sua viabilidade econômica em caráter preliminar.

O programa foi desenvolvido em ambiente MS-EXCEL e funciona em qualquer computador dotado desse programa, bastando que seja devidamente copiado. O objetivo é que qualquer pessoa familiarizada com o uso da planilha possa realizar suas simulações e decidir se vale ou não a pena investir em uma micro usina hidroelétrica.

O programa não substitui o projeto, que precisará ser feito por alguém experiente em construções e eletricidade. Quanto maior a potência da usina, maior a necessidade de detalhamento. Pode-se comparar o projeto de uma usina a um “alvo”, onde o centro corresponde ao projeto executivo (figura 1):

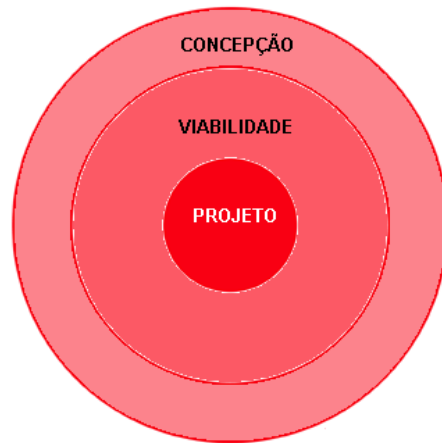


Figura 1- Níveis de precisão na concepção, viabilidade e projeto de Hidroelétricas

Por outro lado, não é conveniente iniciar um projeto detalhado - que custa dinheiro- sem que se tenha algum indício de que o negócio será lucrativo. Por isso, o programa atende desde a fase de concepção inicial até a o começo da

viabilidade. A partir desse ponto, ele precisará ser alimentado com informações precisas, como será visto ao longo do Manual.

2 ANTES DE COMEÇAR

Aos usuários mais experientes:

O programa tem como finalidade ajudar o maior número de pessoas possível. Por isso, algumas partes podem parecer óbvias ou detalhadas demais, pede-se a compreensão.

Antes de começar, é preciso:

- ✓ O MANUAL DE MICROCENTRAIS HIDROELÉTRICAS da ELETROBRAS, que serve como base técnica para o programa . O MANUAL está disponível junto com o software, ou para “download” na internet, no site www.eletrabras.gov.br. **Recomenda-se que seja lido** antes de começar a utilizar o programa, e que seja impresso para melhor manuseio.
- ✓ Um computador pessoal com “MS_WINDOWS” e “MS_EXCEL”. Não foi definida uma configuração mínima para o software funcionar. Ele foi desenvolvido e funciona satisfatoriamente em um PC com velocidade 533 Mhz e 128 Mb de memória RAM, uma configuração simples, portanto. Acesso à internet é bastante desejável. O programa MS-ACESS pode ser útil para a determinação de vazões médias mensais no rio, a menos no Estado de São Paulo, e para consulta ao banco de preços da ELETROBRAS.
- ✓ Um mapa cartográfico, fotografia aérea ou imagem de satélite da região do aproveitamento, embora não obrigatório, é bastante desejável. A escala pode ser 1:10:000, 1:25:000, 1:50.000 ou

1:100.000. É importante que o mapa mostre todos os rios e morros da região.

3 COMO UTILIZAR O PROGRAMA

O MS- EXCEL é uma planilha eletrônica que realiza cálculos relacionando células. As células são designadas por letras e números.

O programa MS- EXCEL possui o recurso das pastas. Cada pasta possui um indicador, como as “orelhas” em uma caderneta de endereços. Cada “orelha” ou pasta é designada por um número. Para trocar de pasta, basta clicar sobre o número, conforme mostrado na figura 2. Para fazer aparecer pastas ocultas, clicar nas setas mostradas à esquerda da pasta 1 .

Processo 1 - nível de carpinteiro				Processo 2- Manômetro	
	comprimento inclinado metros	ângulo com horizontal graus	altura parcial metros	Leitura do Manômetro	Leitura do Manômetro
18	trecho 1	10	10	1.7	Manômetro em lb/in ²
19	trecho 2	14	23	5.5	Manômetro em kgf/cm ²
20	trecho 3				Manômetro em mca
21	trecho 4				Manômetro em atm
22	trecho 5				Valor adotado automaticamente
23	trecho 6				para limpar um valor, clique a tecla
24	trecho 7				
25	trecho 8				
26	trecho 9				
27	trecho 10				
28	trecho 11				
29	trecho 12				
30	trecho 13				
31	trecho 14				

Figura 2- A pasta 1 está ativada. Para ativar a pasta 2, clicar sobre a “orelha” correspondente, abaixo à esquerda

Notar também na figura 2 as células amarelas e azuis.

- ✓ Células amarelas: aguardam que seja digitado um valor;

- ✓ Células azuis: apresentam um resultado de um cálculo utilizado pelo programa;
- ✓ Células verdes: o programa escolhe o melhor resultado disponível e envia para onde for necessário;
- ✓ Células vermelhas: o programa fornece um resultado que pode ser muito variável em função das condições locais. Essas células vermelhas requerem atenção redobrada no desenvolvimento do projeto.

O programa apresenta ainda os recursos dos comentários e comentários permanentes (figura 3):

- ✓ Comentários nas células: células com comentários possuem uma “orelha” vermelha no canto superior direito. Para ler o comentário, basta “passar o mouse” sobre a célula;
- ✓ Existem comentários permanentes, em azul, que aparecem como falas em estórias em quadrinhos;

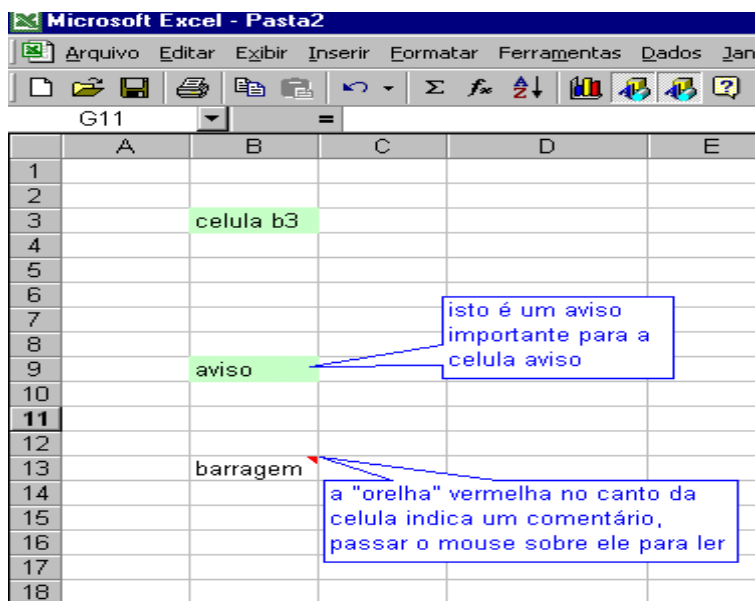


Figura 3- Recursos do programa

- ✓ Na operação do programa, às vezes podem aparecer mensagens de erros como #div0! e #valor! Isso significa que o programa está aguardando a colocação de um valor em uma determinada célula. O erro tende a desaparecer à medida que os dados forem sendo inseridos.

Na operação do programa, não esquecer de gravar os resultados periodicamente. Recomenda-se a cada gravação dar um número diferente, como por exemplo **PCH 1**, **PCH 2**, e assim por diante, sempre com um número no final para ajudar a encontrar depois, facilitando a recuperação de dados mais antigos se necessário.

O programa dificilmente vai acertar a melhor alternativa na primeira tentativa. O processo requer que várias alternativas sejam feitas e comparadas, razão pela qual sugerimos arquivar todos os resultados. Quanto mais alternativas forem verificadas, melhor será o resultado econômico. Esse é mais um motivo para que cada alternativa seja gravada com um nome de arquivo diferente.

O programa apresenta ainda um recurso para a escolha do dado mais preciso. É importante porque às vezes a informação mais precisa pode custar um dinheiro do qual não se dispõe ou não se pretende gastar em uma determinada fase do projeto, ou demorar para ser obtida, mas é preciso que o empreendedor fique ciente de que **“quanto menos detalhado, maior a chance de erros”**, tanto na concepção como no orçamento. Por exemplo, para a determinação da queda do aproveitamento, são disponibilizados 4 processos diferentes, desde uma estimativa “a olho” até um processo preciso conduzido por um agrimensor profissional. O programa seleciona o dado mais preciso e coloca na célula verde, de onde é “enviado” automaticamente para outras partes do programa. (figura 4). Quando um valor mais preciso é inserido no programa, todas as operações e resultados são alterados automaticamente. O Manual descreve detalhadamente a

operação das etapas iniciais. O detalhamento das operações diminui à medida que as operações tornam-se rotineiras.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	DETERMINAÇÃO DA QUEDA BRUTA									
2					queda					
3		Processo 1- estimativa visual			12.0	metros				
4		Processo 2- nível de carpinteiro			5.6	metros				
5		Processo 3- manômetro			4.2	metros				
6		Processo 4- topografia			5.0	metros				
7		Queda adotada			5.0	metros				

Figura 4: Exemplo de escolha do valor mais preciso

4 CONCEBENDO O PROJETO

O Manual de Microcentrais Hidroelétricas da ELETROBRAS traz alguns exemplos de arranjos de usinas nas páginas iniciais. Recomenda-se que seja feita uma leitura cuidadosa dessa parte, para que seja adquirido algum “sentimento “ sobre diversos tipos de arranjos.

Se houver alguma usina nas proximidades, tente conhecê-la, conversar com o dono, conhecer seus problemas e sucessos. Mesmo quando se trata de usinas grandes, os engenheiros sempre estão atentos, trocando experiências com os vizinhos e colegas para melhorar seu próprio conhecimento.

De um modo geral, quanto maior a queda, maior a potência, portanto quanto mais no alto a barragem e mais em baixo a casa de força, melhor. Às vezes podem acontecer exceções, principalmente quando se trata de aproveitamentos pequenos. Uma estrada existente que permita o acesso de equipamentos pode fazer com que compense deslocar um pouco o local das obras, trocando o “ideal” pelo “bom”, evitando custos elevados. O programa é

útil nesse aspecto, pois permite que sejam analisadas rapidamente várias alternativas de arranjo.

A escolha do nível tecnológico também é importante. Tecnologia de ponta custa caro, e nem sempre compensa economicamente para a finalidade desejada ou ainda “cabe no bolso”. Se houver sobra de água, talvez valha a pena construir uma usina pequena, adequada às suas necessidades, do que aproveitar todo o rio e depender da venda de energia para terceiros para sobreviver.

É preciso enfatizar, as necessidades das pessoas e das propriedades são diferentes, o que é bom para um pode não ser bom para outro. Por exemplo, para uma empresa transportadora um caminhão velho pode ser uma fonte de problemas, pois ele necessita rodar muito, todos os dias sem quebrar para dar lucro.

Esse mesmo caminhão pode ser fonte de lucro em um sítio ou fazenda, quando utilizado em trajetos curtos, rodando pouco e dessa forma quebrando pouco também. O seu vizinho pode precisar de uma grande carreta todos os dias para transportar a produção, mas sua necessidade pode ser diferente, talvez o ideal seja ter um veículo menor, ou mesmo contratar o transporte.

Por isso, a recomendação é cautela para não executar nada supérfluo ou em tamanho grande demais. Para hidroelétricas, pode até valer a pena começar com algo pequeno, conhecer a tecnologia, obter lucro, para então evoluir para coisas maiores, principalmente se o empreendimento não tiver apoio de um profissional experiente.

5 ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

Um projeto detalhado precisa de um levantamento topográfico do local. Antes do projeto, enquanto as idéias estiverem amadurecendo, talvez não valha o investimento, de modo que as informações essenciais precisam ser coletadas: queda e área da bacia hidrográfica.

5.1 Determinação da queda

Após copiar o arquivo “programa” para seu PC, abra a pasta de trabalho “1” e salve o programa com um nome e respectiva versão. Na primeira linha aparece a finalidade da pasta, que é a determinação da queda bruta e da área da bacia. Para se determinar a queda bruta, são sugeridos 4 processos diferentes:

Processo 1- estimativa visual

É o processo mais simples, mas muito impreciso. Deve ser utilizado em situações nas quais ainda não se tenha noção do arranjo a ser adotado, ou seja, na fase que podemos chamar das “suposições” ou dos “sonhos”.

Processo 2- nível de carpinteiro

Esse processo está bem descrito no Manual de Microcentrais Hidroelétricas da ELETROBRAS. O programa ajuda nos cálculos. Nas colunas A até D, entre as linhas 18 a 33, preencha o comprimento dos trechos medidos (com inclinação), e o ângulo do trecho correspondente com a horizontal, conforme a figura 3. O programa suporta até 20 trechos. Os resultados dos trechos são somados na célula D38 e copiados na célula E4.

Processo 3- manômetro

Outro processo para determinação de queda é bem preciso, mas requer um manômetro calibrado e uma mangueira longa. Enchendo a mangueira de água com cuidado para não deixar bolhas, pode-se medir a pressão desde o local da barragem até a casa de força, e transformar em altura. É preciso tomar cuidado para não exceder a capacidade do manômetro. Se o ponteiro chegar no máximo, desconfie, pois a queda pode ser maior que a capacidade de leitura do aparelho.

Os manômetros podem vir com diferentes unidades de medida, é preciso atenção. O programa, entre as células F17 e J20 ajuda a calcular a queda a partir da pressão. É preciso somente preencher a pressão anotada no campo no quadro correspondente à unidade de medida do manômetro. O resultado escolhido é mostrado em J21, e enviado para a linha E5 .

Processo 4- topografia

A topografia é o processo mais preciso e definitivo. Caso o valor da queda estiver disponível, basta inserir o valor na célula correspondente.

Na célula E7, o programa escolhe o melhor valor dentre os disponíveis.

5.2 Determinação da área da bacia

Após salvar o trabalho, a área da bacia pode ser determinada para permitir os cálculos referentes ao volume d'água disponível. É preciso dispor de uma carta geográfica detalhada, que mostre todos os rios e morros, fotografias aéreas ou imagem de satélite.

A escala pode ser qualquer, mas recomenda-se entre 1:25.000 e 1:50.000. Essa carta pode ser comprada obtida no IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (www.ibge.gov.br) ou ainda ser obtida na Prefeitura ou Cooperativas. A internet também possui algumas opções no site da EMBRAPA www.embrapa.br. Quando o mapa ou imagem for reproduzida ou copiada, prestar muita atenção à escala, ou seja, a qual distância corresponde um centímetro no mapa. Prefira os mapas com a escala impressa.

Recomenda-se tirar várias cópias xerox do trecho de interesse, para poder trabalhar rabiscar à vontade. O passo inicial é ressaltar todos os rios da área de interesse, marcando a direção do fluxo de cada um. A bacia de drenagem é definida pela área na qual a água da chuva acaba por chegar ao local da barragem, como exemplificado na figura 5. Notar pelas setas que na área fora da delimitação os rios não correm para o local da barragem

Delimitada a área da bacia, é preciso determiná-la. Para isso, existem vários métodos, porém o mais simples e que possui precisão adequada consiste em dividir a área em um reticulado de triângulos e retângulos conforme figura 6. Quanto mais detalhado o reticulado, mais preciso o resultado. Os retângulos e triângulos devem ser numerados seqüencialmente: R1, R2, T1, T2 e assim por diante.

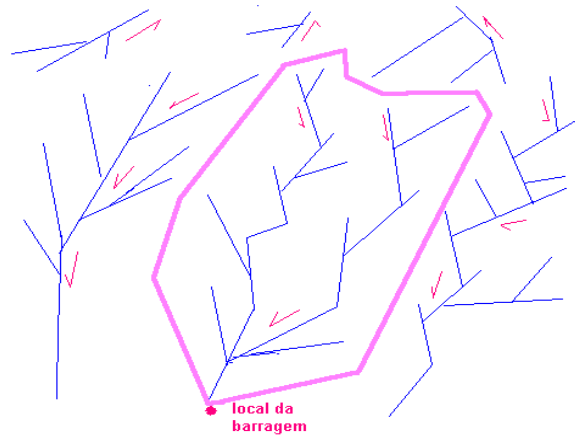


Figura 5: Área de drenagem

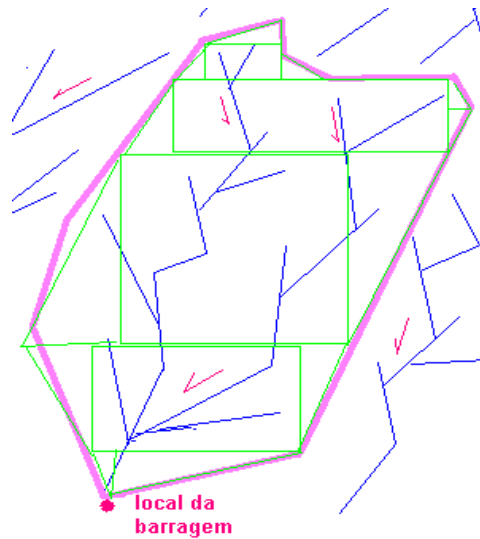


Figura 6: Exemplo de cálculo de área de bacia de drenagem

O programa ajuda a calcular a área dos triângulos e retângulos, bem como converter cm^2 para km^2 conforme a escala. Na pasta 1, entre as células B53 a D90 estão os espaços para serem completados com um e outro lado de até 37 retângulos. Nas células E53 a E90 estão os espaços para serem preenchidos

com a altura e a base de cada retângulo. O programa soma as áreas e envia para as células C45 a C47. Notar que a área do triângulo é definida como na figura 7. Não confundir altura do triângulo com o lado do triângulo:

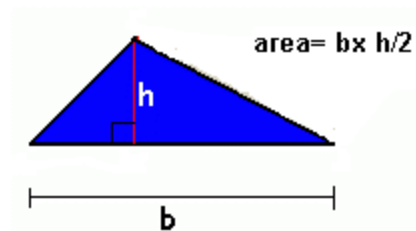


Figura 7: Área do triângulo

A transformação de área em centímetros quadrados em quilômetros quadrados necessita que a escala do mapa seja inserida na célula H46. O resultado final em quilômetros quadrados é fornecido na célula J46.

6 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Caso a usina planejada seja pequena e esteja em um rio com grande volume de água, essa etapa pode ser conduzida com pouca precisão. Na maioria dos casos, porém, a potência da usina ficará limitada à quantidade de água disponível, que é variável dia a dia, mês a mês, ano a ano. A avaliação da quantidade de água disponível é uma tarefa complicada, pois envolve a busca de dados nem sempre muito fáceis de se obter e cálculos especializados, feitos por hidrólogos.

Recomenda-se que o projeto da usina, caso venha a ser detalhado, sempre tenha a ajuda de um hidrólogo, principalmente se as estimativas preliminares aqui realizadas indiquem que a usina esteja próxima a utilizar toda a água disponível no rio. Caso a opção seja por procurar um hidrólogo, vale a pena buscar ajuda nos órgãos do governo estadual encarregados da gestão de recursos hídricos ou Universidades.

Cabe ainda lembrar o significado de duas palavras parecidas: **Pluviometria** refere-se à medição de chuvas, normalmente feita em milímetros.

Fluviometria é a medição de vazão nos rios, normalmente feita em metros cúbicos por segundo (m^3/s), ou litros/segundo (l/s).

6.1 Hidrologia para o Estado de São Paulo

Os estudos de PCH's no Estado de São Paulo contam com uma ferramenta útil que é o programa SIGRH do DAEE - Departamento de Águas e Energia. O programa é relativamente fácil de utilizar e funciona diretamente na Internet, no "site". < <http://www.dae.sp.gov.br/servicos/bancodados.htm> > .

- ✓ Na página da internet, optar por "pesquisa através de interface gráfica", que tem o aspecto indicado na figura 8.
- ✓ É possível mostrar no mapa os rios, os municípios, os nomes e códigos dos postos pluviométricos, basta marcar o que se deseja nas opções à esquerda do mapa. Os postos fluviométricos, que fornecem vazões de rios, geralmente estão restritos aos rios maiores e não tem muito interesse para nosso objetivo. Portanto é preciso marcar a opção "PLU" no canto superior esquerdo. Uma vez localizado o posto pluviométrico mais próximo, clicar em "POSTO" no quadro de opções de fundo verde.
- ✓ Clicar sobre o nome do posto desejado, e depois que a tela mudar clicar a opção "dados plu" no canto inferior direito da tela.
- ✓ A tela muda novamente recomenda-se a opção "pluviograma acumulado médio mensal" do gráfico, é possível "ler" as chuvas médias mensais em cada mês. A unidade padrão para os dados de chuva é o milímetro (mm).
- ✓ Ler as chuvas médias de cada mês, e anotar à parte (figura 9). Caso se deseja maior precisão, a opção "chuva mensal" fornece os dados numéricos, mas não as médias, que precisam ser calculadas. Esses dados podem ser "baixados" e trabalhados depois em uma planilha, se assim for conveniente.

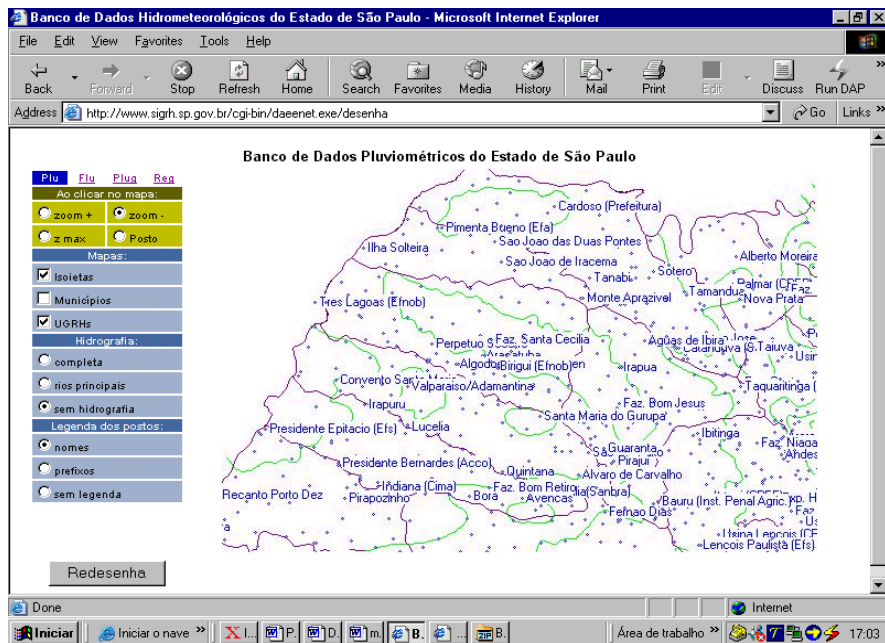


Figura 8: Tela de entrada Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo: pesquisa através de interface gráfica

- ✓ Deve se prestar atenção para a qualidade dos dados de um posto. Muitos postos possuem falhas nos dados, é interessante pesquisar em outros postos próximos e escolher aqueles com menos falhas.
- ✓ Outro ponto para atenção é o relevo da região. Tomando como exemplo o Vale do Paraíba, um posto no sopé da Serra da Mantiqueira pode apresentar dados muito diferentes da realidade, se a barragem estiver no topo da serra. Nesse caso, mesmo postos próximos podem apresentar uma diferença muito grande. A sugestão é “navegar” pela tela do programa (figura 8) com a opção “isoietas” marcadas, assim será possível escolher um posto com o mesmo valor de isoietas, evitando esse tipo de armadilha.

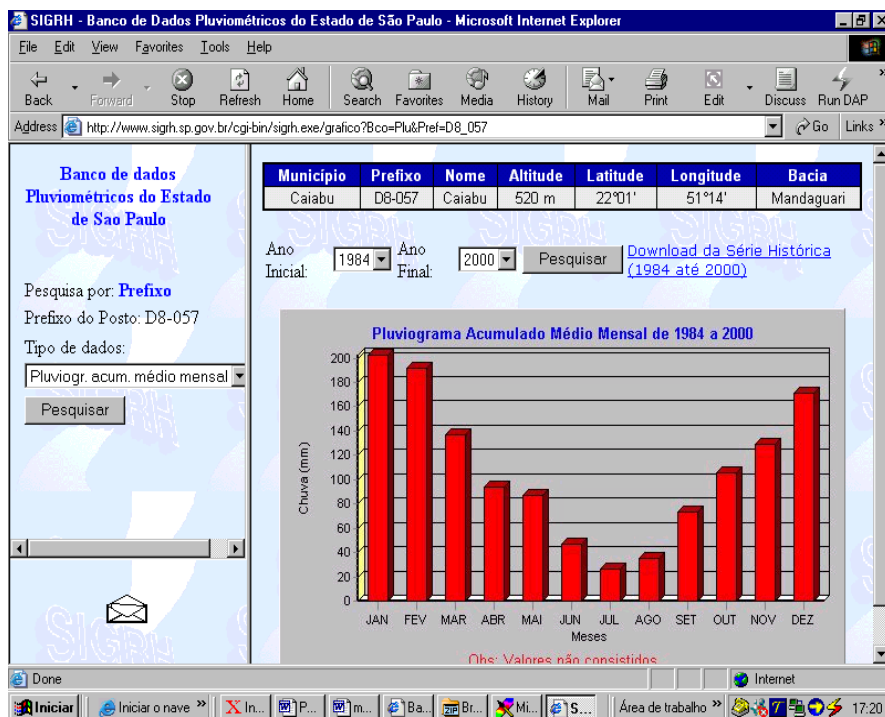


Figura 9- Exemplo de gráfico de pluviometria (chuvas) médias, do software SIGRH.

De volta à pesquisa por interface gráfica (figura 8):

- ✓ Assinalar a opção “REG” e após localizar o ponto da barragem (não há necessidade de alta precisão nessa operação) clicar a opção “bacia” e clicar sobre o local da barragem.
- ✓ No canto inferior direito, clicar a opção “regionalização”. Ao clicar no mapa, abre-se outra tela, é preciso inserir o valor anteriormente calculado para “área da bacia” (pasta1, célula J46).
- ✓ Recalcular o programa e anotar à parte os valores de “vazão média plurianual” e vazão $P\% = 95\%$.

Uma vez obtidos os dados de entrada, abrir o arquivo de trabalho em MS-EXCEL na pasta 2, que tem as rotinas para os cálculos hidrológicos. Inserir as chuvas médias mensais de janeiro a dezembro nas células compreendidas

entre B25 e M25. A vazão de permanência a 95% do tempo e a vazão média de longo termo deverão ser inseridas nas células F21 e F22. A planilha retorna a vazão média mês a mês, para o local do empreendimento.

Vazão de permanência a 95% do tempo (Q_{95}) significa que essa é a vazão mínima que vai estar disponível para ser utilizada para geração em 95% do tempo. Ou seja, durante 18 dias por ano **em média** o rio apresentará vazões abaixo da indicada. Como esse número é estatístico, em um determinado ano poderá haver um número maior de dias com vazões inferiores, e em outro, nenhum dia com vazão inferior ao Q_{95} .

6.2 Utilizando os dados da ANA - Agencia Nacional de Águas

Embora todos os dados do Estado de São Paulo estejam inseridos no banco de dados da ANA- Hidroweb, esse último apresenta maior dificuldade de uso e requer paciência de quem o utiliza pela primeira vez, por isso recomenda-se o “site” do Estado de São Paulo sempre que o empreendimento esteja nesse Estado. Os dados estão disponíveis para consulta e “download” no site www.hidroweb.ana.gov.br/hidroweb. Antes de se visualizar os dados, é preciso “baixar” e instalar os softwares existentes na opção “softwares” da página: HIDRO1.0.8. e HIDRO 1.0.9. Os arquivos são grandes, recomenda-se “baixar” os arquivos em local com internet banda larga, ou à noite. Caso não seja possível buscar os dados na internet, sugere-se procurar a Prefeitura, a Cooperativa ou Universidade mais próxima. Após instalar os softwares, é preciso pesquisar primeiro os códigos dos postos pluviométricos do seu interesse:

- ✓ Pesquisar no campo “dados hidrológicos”. Na tela de pesquisa, fica mais fácil pesquisar o nome do município de interesse e dos municípios vizinhos. Ao pesquisar, uma listagem será apresentada, clicar sobre o código do posto. Vai aparecer uma nova tela com os dados de instalação do posto. Se o campo “consultar série” estiver vazio, o posto ainda não tem os dados inseridos no sistema. O

número de postos com dados ainda é pequeno, pois o sistema está em implantação.

- ✓ Se tiver a série de “chuva”, assinalar a opção “arquivo access”. “baixar” os dados, anotando o local onde foram gravados. É possível “baixar” as séries de vários postos, somente é preciso anotar o número do posto, nome, localização e a entidade que realiza as leituras.
- ✓ A seguir, abrir o programa “hidro”. A senha é “hidro” no campo superior, e “master” no inferior. Clicar em “sistema” no canto superior esquerdo, e “importar”. O quadrado com “...” à direita do nome do arquivo abre a opção de pesquisa de arquivo. Colocar o(s) nome(s) do(s) arquivo(s) tipo .mdb “baixado(s)” na pesquisa de dados. Em seguida, clicar em “funções” e em seguida “estatísticas de chuvas”.
- ✓ Abre-se a janela de pesquisa. O botão com “...” no canto superior direito da tela abre a pesquisa das séries. Clique em “consultar estações”, e depois clique sobre o número do posto desejado. Na pasta (orelha) “totais mensais”, na última linha, tem as médias mensais. Anote o valor para a média de cada mês. Caso mais postos tenham sido selecionados, repita os procedimentos. Deve se prestar atenção para a qualidade dos dados de um posto. Muitos postos possuem falhas nos dados, é interessante pesquisar em outros postos próximos e escolher aqueles melhores.

6.3 Utilizando outros dados hidrológicos

Caso nenhum dado tenha sido obtido em 5.3.1 ou 5.3.2, vale a pena pesquisar também na Prefeitura, Cooperativa ou Universidade se existe algum posto meteorológico sendo lido na região. Além das médias mensais, essa

disponibilidade ajuda a diminuir a incerteza causada pela diferença de vazões entre anos mais úmidos e mais secos.

6.4 Medidas de vazão

Além dos dados de chuva, é preciso fazer medições de vazão. Essas podem ser feitas por 3 processos, descritos no Manual de Microcentrais Hidroelétricas da ELETROBRAS nas seções 4.3.5. Esses métodos são:

- ✓ Vertedor triangular
- ✓ Vertedor retangular
- ✓ Medição com flutuador

O último processo é menos preciso que os dois primeiros, que são equivalentes. Para vazões pequenas, utilize o “vertedor triangular”. A pasta 2 do arquivo MS-EXCEL traz entre as linhas 30 a 40 o apoio aos cálculos. Utilizar somente um processo “vertedor triangular” ou “vertedor retangular”.

À medida que o projeto for avançando, recomenda-se fazer várias medidas em dias seguidos. Nesse caso, os resultados devem ser anotados à parte e a média desses resultados deve ser transferida para o programa depois.

No “resumo dos resultados” (célula F39 e vizinhas) o programa repete os dados de medição e escolhe o de melhor precisão (célula I42).

6.5 Transformação dos dados de chuva em dados de vazão

De posse dos dados de chuva média mês a mês obtidos no HIDROWEB ou na Prefeitura ou Cooperativa, transcrever os dados no arquivo de trabalho do MS-EXCEL, pasta 2, células da linha 52- “chuva média do posto escolhido”. Outra alternativa é buscar esse dado junto à entidade que realiza as leituras no posto pluviométrico pesquisado.

É preciso agora converter a chuva em vazão média. Esse passo é difícil e pode resultar em erros, porque um ano ou mês dificilmente está exatamente na

média, sempre é mais seco ou mais chuvoso. Dois processos são descritos a seguir:

Hidrometria com apoio de dados de chuva recentes

Caso os dados de chuva estejam sendo lidos pela Prefeitura ou Cooperativa, é fácil saber no fim de um determinado mês qual a chuva acumulada. Embora o processo não seja muito preciso, é possível fazer uma “regra de três” para saber a vazão média naquele mês:

Vazão média observada no mês: Vazão média no mês

Chuva lida no mês: Chuva média no mês

Evidentemente, se forem tomadas várias leituras de vazão em um mês, mais preciso ficará o trabalho. No arquivo de trabalho, pasta 2, as linhas 44 a 54 ajudam no cálculo da vazão sob o título: Processo 2: Hidrometria com apoio de dados hidrológicos recentes:

- ✓ Vazão medida em um mês: o programa “chama” o dado escolhido nas medições de vazão de campo. Sugere-se adotar a média de um mês, desprezando as cheias decorrentes de chuvas fortes.
- ✓ Chuva medida no mês: inserir o dado de chuva em milímetros para o mesmo mês da medição de vazão, mensal obtida na Prefeitura, Cooperativa ou entidade que mantém o posto. Por exemplo, se a média das vazões for tomada no mês de julho de 2004, inserir os dados de chuva do mês de julho de 2004, do posto próximo.
- ✓ Chuva média no mês: inserir o valor correspondente à chuva média de vários anos, no mês de medição. Seguindo o exemplo anterior, colocar a chuva média geral para o mês de julho.

O programa vai calcular a vazão média no mês e a relação entre chuva mensal e vazão mensal, e então calcular as vazões médias para todos os meses com base nos valores de chuva médios.

Hidrometria sem apoio de dados de chuva recentes

Nem sempre os dados recentes com a chuva do mês anterior estão disponíveis. Essa dificuldade tende a desaparecer rapidamente, com o avanço na disponibilidade de dados on-line na internet. Caso os dados não sejam obtidos, a alternativa é usar a sensibilidade e fazer uma estimativa, embora provavelmente estejam sendo cometidos erros. **Aqui, mais uma vez, essa estimativa não deve ser usada para detalhamento, apenas para simulações preliminares.** A tabela 1 fornece um índice para cada situação. Esses índices são estimados.

Os índices deverão ser transferidos para a planilha de trabalho, pasta 2, na seção correspondente a Processo 3: Hidrometria sem apoio de dados hidrológicos recentes (linhas 57 a 66).

A planilha transporta os resultados para o resumo existente nas primeiras linhas do programa, seleciona aquele que possui melhor precisão (G10 a S10) e armazena para utilização adiante.

Situação do rio	Índice
Tem chovido muito, o rio está muito cheio para essa época do ano.	2.00
Tem chovido mais que a média, o rio está um pouco mais cheio para essa época do ano.	1.50
O rio está normal para essa época do ano	1.00
Tem chovido um pouco menos que a média, o rio está um pouco baixo.	0.75
O rio está extremamente seco para essa época do ano.	0.50

6.6 Estimativa das vazões garantidas mês a mês.

O programa realiza um cálculo simplificado das vazões com permanência de 95% (Q_{95}), válido somente como estimativa. Parte dos pressupostos:

- ✓ Que vazões menores que Q_{95} sempre acontece no mês mais seco - geralmente é verdade, mas não sempre.
- ✓ Que é possível estabelecer uma relação fixa entre Q_{95} e Q médio no mês mais seco.
- ✓ Que as vazões dos outros meses mais chuvosos sempre obedecem à relação entre Q_{95} e Q médio no mês mais seco, que não é exata, mas é válida para os objetivos do programa. Esse valor é indicado na célula B15.

Caso não se disponha do valor de Q_{95} , o programa adota um valor correspondente a 30% da vazão média. Essa porcentagem corresponde à mínima pesquisada no Estado de São Paulo, com o programa de regionalização.

7 ESTUDOS HIDROENERGÉTICOS

Antes de começar, vale a pena recordar a conversão de unidades de potência e energia:

- ✓ 1 Cv (cavalo-vapor) ou Hp (Horse power)= 745,6 W (Watt).
- ✓ 1000 Watt hora (Wh) = 1kWh (quilowatt hora)= Potência de um kW atuando durante uma hora inteira.
- ✓ Um equipamento com potência de 1 kW atuando durante 24 horas nos 30 dias do mês gasta o equivalente a 1 kWh x 24 horas x 30 dias= 720 kWh no mês.

A pasta 3 tem como finalidade auxiliar o cálculo do consumo de energia de uma propriedade rural. Corresponde à parte da etapa descrita no item 4.5 do Manual de Microcentrais Hidroelétricas da ELETROBRAS: Determinação da Potência Aproveitável, Planejamento do Uso da Energia e Definição da Potência a Ser Instalada. A pasta ocupa muitas linhas e colunas, vale a pena dar uma visão geral:

A necessidade de se estabelecer o consumo mês a mês é consequência do ritmo normal do trabalho da propriedade, pois o consumo varia conforme a

safra e a época do ano. Por outro lado, o volume do rio também varia ao longo do ano, conseqüentemente a capacidade de fornecer energia.

Entre as células A7 e P46 deverão ser inseridos dados relativos ao uso atual e diurno de equipamentos elétricos na propriedade. As células R7 a AC46 calculam o consumo correspondente em kWh (quiloWatt-hora)

Entre as células A48 e P80 deverão ser inseridos os dados de uso atual e noturno de equipamentos elétricos na propriedade. As células R48 e AC80 calculam o consumo correspondente automaticamente.

As células A83 a P123 recebem os dados de uso de equipamentos elétricos diurno e futuro, ou planejado, para a propriedade. O consumo correspondente é calculado nas células R83 a AC123.

As células A125 a P158 recebem os dados de uso de equipamentos elétricos diurno e futuro, ou planejado, para a propriedade. O consumo correspondente é calculado nas células R125 a AC158.

Para preencher as colunas A até P seguir as seguintes diretrizes:

- ✓ A coluna A apresenta várias sugestões de equipamento mais comuns. É possível trocar ou colocar outros tipos de equipamentos.
- ✓ A coluna B recebe a quantidade de equipamentos de características iguais. Caso existam dois equipamentos com potências diferentes, usar duas linhas diferentes.
- ✓ As colunas C e D recebem a potência do equipamento em HP (ou CV) e W (Watt). Esse dado normalmente se encontra na “placa” dos motores elétricos ou equipamentos, ou ainda nos respectivos manuais. Inserir o dado na coluna C ou D, conforme a unidade (HP ou W), o programa transforma para Watt automaticamente se preciso.
- ✓ Para as colunas E a P, é preciso completar com o valor das horas cada equipamento funciona em cada mês. Desse modo, é possível saber como o consumo de energia se comporta ao longo do ano. Por exemplo, nos

meses secos o emprego de bombas para irrigação é baixo, na colheita a energia é usada para secar e descascar.

- ✓ O cálculo para preencher as colunas E a P deve ser feito multiplicando o número de horas que o equipamento funciona por dia pelo número de dias que o equipamento funciona no mês, em média. Notar que é preciso separar as horas de funcionamento no período diurno (linhas 7 a 46) do período noturno (linhas 48 a 80).
- ✓ Para os equipamentos de consumo intermitente, que tem termostato, ou “timer” (geladeiras, sistemas de irrigação automáticos, aquecimento ou ventilação) é preciso acompanhar o funcionamento durante um certo tempo, para verificar durante quantas horas esses equipamentos ficam ligados efetivamente, consumindo energia.
- ✓ Por exemplo, um refrigerador que fica com o motor funcionando durante 10 minutos por hora funciona 2 horas no período diurno:
$$10 \text{ minutos em uma hora} \times 12 \text{ horas no período diurno} =$$
$$120 \text{ minutos} = 2 \text{ horas no período diurno.}$$
- ✓ Como o refrigerador funciona 30 dias no mês, inserir na planilha: $2 \text{ horas} \times 30 \text{ dias} = 60 \text{ horas}$, em todos os meses nos quais o refrigerador ficar ligado. Como o refrigerador fica ligado dia e noite, não esquecer de repetir o procedimento na tabela correspondente ao período noturno (linhas 48 a 80).
- ✓ Repetir o procedimento para aqueles equipamentos que se pretende instalar na propriedade, nas tabelas referentes ao futuro.

Os resultados de consumo mensal (em kWh) mês a mês são resumidos entre as células R1 e AC1. Caso a propriedade tenha energia instalada, vale a pena comparar o consumo registrado nas últimas contas de energia com o calculado por esse processo. Os números precisam ser parecidos, se necessário ajustar o que for preciso, não esquecendo de deduzir o consumo estimado no futuro.

O resultado do processamento dos dados de consumo é apresentado em um gráfico, na pasta “graf1”. Caso os dados referentes à produção de energia já tenham sido inseridos, aparecerão também.

Caso a propriedade não tenha equipamentos elétricos e pretenda instalar, as tabelas 2 a 11 apresentam algumas características de consumo de alguns equipamentos mais comuns encontrados em casas e fazendas. Esses consumos deverão ser verificados e corrigidos, pois variam de fabricante para fabricante e de modelo para modelo. Além disso, os fabricantes melhoram os aparelhos, que tendem a ficar mais econômicos com o tempo:

Chuveiro	2500 a 7000
Torneira Elétrica	2500
Aquecedor de Ambiente	500 a 1500
Lava-Roupas	800 a 1000
Geladeira, Freezer.	300 a 500
Microondas	1000 a 2000
Ferro elétrico	400 a 1000
Centrífuga, Liquidificador, Batedeira.	300 a 500
Máquina de selar embalagem de plástico	500 a 1500

A tabela 3 mostra o consumo típico para iluminar ambientes. Para chegar ao valor, multiplicar a carga em W/m^2 pela área do ambiente, somar e transportar para a linha “iluminação” na pasta 3 do programa, e então tratar como se fosse um outro equipamento qualquer.

A tabela 4 mostra as potências de equipamentos utilizados mais comuns em oficinas. Esses valores são aproximados, e podem variar de fabricante para fabricante:

A tabela 5 mostra a potência necessária para moer alguns produtos em moinhos de martelo. Para produtos como açúcar, feijão, amendoim, soja, consultar o fabricante.

Tabela 3- Carga típica de iluminação de alguns ambientes (Watt por metro quadrado).

	Luz comum	Luz fluorescente
Residências	30	15
Fabricas, oficinas, estábulos.	20	10
Depósitos, armazéns, passagens.	5	3
Auditórios	10	5
Escolas	30	15
Igrejas	10	5
Restaurantes	20	10
Hotéis	20	10
Garagens	5	3
Escritórios	20	10
Bancos	30	15

Tabela 4- Potência de equipamentos utilizados em oficinas (em Watt).

		Potência (W)
Ferramentas manuais	Furadeira, retífica	350 a 700
	Esmeril e lixadeira	350 a 1000
	Serra circular	400 a 1000
	Tesoura para chapas até 2 mm Manual	300
	Tesoura para chapas até 4 mm Manual	1500
	Serra tico tico	300 a 750
	Serra para tubos 750 mm	750
Ferramentas de bancada	Freza	2200
	Serra circular 85 mm max	1500
	Serra circular maior	Até 5300
	Desempenadeira	750 a 2200
	Serra de fita	750 a 2000
	Esmeril e Furadeira de bancada	350 a 750
	Lixadeira	750 a 1500
Tesouras	1500 a 2200	

Tabela 5 -Potência necessária para moer alguns produtos em moinhos de martelo					
Produção (kg/hora)	Fubá grosso (W)	Fubá fino (W)	Quirera (W)	Café (W)	Outros
150	2200	550	140	280	Consultar fabricante
300	3000	750	190	380	Consultar fabricante
500	5600	1400	350	700	Consultar fabricante
750	7500	1880	470	940	Consultar fabricante
1000	8200	2050	510	1020	Consultar fabricante
1500	9400	2350	590	1180	Consultar fabricante
2000	13100	3280	820	1640	Consultar fabricante
3000	18800	4700	1180	2360	Consultar fabricante
4000	26200	6550	1640	3280	Consultar fabricante

A tabela 6 mostra a potência necessária para movimentar a picadeira/ensiladeira, conforme a produção:

Tabela 6- Potência necessária para movimentar picadeira/ensiladeira, conforme a produção	
Produção (kg/hora)	Potência (Watt)
1000	2200
2000	3300
3000	5500
5000	11050
10000	18400

A tabela 7 mostra a potência necessária para um triturador/picador/desintegrador, conforme o produto processado:

Tabela 7 -Potência necessária para movimentar o conjunto triturador/picador/desintegrador, conforme a o produto e a produção							
Milho sem palha	Milho com palha	Fubá grosso	Quirera	Fubá fino	Forragem e capim	Cana	Potência necessária (Watt)
350	450	450	500	40	1000	2000	2200
450	550	600	700	60	1500	3000	3700
600	700	650	900	1000	2000	4000	2400
800	800	700	1000	120	2500	5000	5520
1000	900	900	1100	150	3000	6000	7360

A tabela 8 mostra a potência necessária para misturadores de ração, conforme a produção:

Tabela 8 -Potência necessária para movimentar misturadoras de ração, conforme a capacidade de produção	
Produção (kg/hora)	Potência (W)
250-300	1500
500-600	3730
600-1000	5600
1000-1500	5600 a 7450
1500-2000	7450 a 11200
5000	11200 a 14920

A tabela 9 apresenta a potência do motor do compressor para refrigeradores de leite, conforme a capacidade:

Tabela 9 -Potência necessária para resfriadores de leite, conforme a capacidade	
Capacidade (litros de leite)	Potência do motor (W)
100	380
200	380 a 560
300	380 a 760
400	560 a 760
500	760 a 1140
600	760 a 1140
800	1140 a 1500
1000	1140 a 1500

Outros exemplos são fornecidos na tabela 10. Notar que esses últimos equipamentos possuem uma grande variação de potência em função da capacidade, logo o fabricante ou vendedor deve ser consultado antes de qualquer instalação, os valores abaixo são meras referências.

Tabela 10 -Potência necessária para outros equipamentos, conforme a capacidade		
Equipamento	Capacidade	Potencia (W)
Transportadora de ração de aves	genérico	750 a 2100
Chocadeira de pintos	4500 a 6000 ovos	5000 a 7000
Nascedouro de pintos	20000 ovos	
Aquecedores para pintos	100 pintos	400
Depenadeira	genérica	380
Lavadora de ovos	600 ovos/hora	380
Lavadora de ovos com água quente	600 ovos/hora	880
Lavadora de frutas e tomates	60 caixas/hora	130 a 200
	100 caixas /hora	200 a 260
Lavadora de batatas	6000 kg/hora	760 a 1500

A tabela 11 mostra a potência típica para máquinas de beneficiamento:

Existem muitas outras aplicações nas quais a energia pode ser utilizada, como irrigação, ventilação de criações confinadas, aquecimento de água,

oxigenação de criadouros de peixes, cozinhas industriais e congelamento de alimentos, serraria. Para essas, é difícil estabelecer o gasto de energia, pois a variação do consumo é grande conforme o projeto e tamanho da instalação.

Tabela 11-Potência necessária para outros equipamentos de beneficiamento, conforme a capacidade			
Equipamento	Aplicação	Produção kg/hora	Potência (W)
Peneira centrífuga	Amido, fécula de mandioca, creme de milho, fubá	60	1500
		120	2250
		200	3750
		400	5625
Descascador	Amendoim em casca	2500	7500
		5000	15000
Peneiras simples	Amendoim	2500	1130
		5000	1500
Peneirão	Amendoim e outras sementes	1500	3750
		3000	5625
Separador de grãos defeituosos	Amendoim arroz, café, milho, soja, gergelim, sementes em geral	1500	2250
		3000	3750
		4500	5625
Catador de impurezas	Sementes em geral	3600	1500
		6000	2250
		9000	3000
Batedor	Arroz	1000-1200	3750
Beneficiadora	Arroz	90	2250
		130	3750
		300	5625
		600	11250
		900	26250
		1500	45000
Peneiras de limpeza	Arroz, cevada	6000	3750
		12000	5625
		24000	11250
Peneira de limpeza	Trigo, soja, outros	7500	3750
		15000	5625
		30000	11250
Debulhadeira	Milho	300	750
		500	1130
		900	1500
		1200	2250
Canjiqueira	Milho	300	2250
		900	3750
		3000	7500
		9000	15000
Debulhadeira e despilhadeira	Milho	300	2250
		500	3000
		900	5625
		1200	7500
Fornos rotativos	Farinha de milho e mandioca	100	750
		160	2250

Tabela 11-Potência necessária para outros equipamentos de beneficiamento, conforme a capacidade			
Lavador e descascador	Mandioca	150	1500
		300	1880
		450	2250
		750	3000
		1200	3750
Ralador	Mandioca	40	750
		80	1500
		120	1880
		200	2250
		320	3380
Esfarelador e desmembrador	Mandioca	40	750
		80	1130
		120	1500
		200	1880
		320	2250
Torrador contínuo	Mandioca.	40	750
		80	1500
		120	2250
		200	1880
Classificador de farinha	Mandioca	320	750
Moinho	Mandioca	200	750
		300	1500
Limpeza, polimento e classificação	Feijão	1000-2000	750
		2000-3000	1500
Peneira	Cereais, farinha de ossos, cinzas	1200	1500
		2000	2250
Descascador	Mamona	400-500	3750
		900	5625
		1500	7500
		3000	11250
		6000	5625
Desintegrador, debulhador, ensacador	Cana, capim, folha de mandioca	6000	5625
Quebrador de tortas	Genérico	400-500	5625
		800-1000	7500
Misturador	Adubo	4000	15000

7.1 Produção de energia

A pasta 3 tem como finalidade auxiliar o cálculo da energia produzida na usina estudada. Corresponde à parte restante da etapa descrita no item 4.5 do Manual de Microcentrais Hidroelétricas da ELETROBRAS: Determinação da Potência Aproveitável, Planejamento do Uso da Energia e Definição da Potência a Ser Instalada.

A disponibilidade do computador faz com que os cálculos sejam muito mais detalhados do que aqueles feitos segundo o processo descrito no Manual de Microcentrais Hidroelétricas da ELETROBRAS, prevendo situações que antes tomariam muito tempo de cálculos complexos.

A pasta 4 possui a parte do programa que:

- ✓ Transforma as vazões médias em energia média, isto é, aquela provável mês a mês, considerando um período longo, mês a mês.
- ✓ Transforma as vazões Q95 em energia garantida a 95% do tempo, mês a mês.
- ✓ Com base nas informações de consumo de energia diurna e noturna, calcula o volume de água no reservatório necessário para armazenar água durante a noite, quando o consumo de energia é menor, para poder gerar mais durante o dia. Esse é o volume útil, expresso em metros cúbicos (m^3). O volume útil é calculado sempre em termos do consumo atual mais o futuro. Quando a usina é pequena demais para o rio, o volume útil no reservatório é zero, ou seja, não será preciso acumular água durante a noite para usar durante o dia.

Apesar dos conceitos serem complicados, essa pasta é muito simples de ser preenchida, pois quase todos os dados necessários já foram calculados antes. Os únicos dados a inserir estão mostrados na figura 10:

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with the following data:

	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Dados complementares											
2				preliminar	definitiva	adotada						
3	Perda de carga			0,60		0,60	(m)					
4	Rendimento geral			0,7		0,70						
5	Queda líquida			19,40		19,40	(m)					
6	Vazão mínima pelo leito do ri			10,00%		10,00%	% da vazão afluente					
7												
8												
9												
10	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez			
11	0,60	0,60	0,33	0,27	0,27	0,27	0,40	0,50	0,67			
12	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07			
13	43119	43119	28746	22997	22997	22997	34495	43119	57492			

A blue callout box points to the 'definitiva' column with the text: "os valores definitivos serão completados automaticamente após o detalhamento a ser feito com o projeto e escolha dos equipamentos".

Figura 10- Exemplo de entrada de dados na pasta “Estudos Energéticos”

A perda de carga é uma diminuição na queda por causa do atrito da água com a tubulação, válvulas e outras partes do circuito de adução, e é medida em metros. O valor preliminar padrão adotado automaticamente é 3% da queda bruta, que pode ser alterado à vontade. No exemplo da figura 10, para uma queda de 20 metros, perdem-se 3%, ou

$$20 \times 3/100 = 0,6 \text{ metros, ou } 60 \text{ cm.}$$

O valor “definitivo” será preenchido automaticamente pelo programa adiante, quando forem feitas as contas mais detalhadas, considerando o tipo da adutora, diâmetro, válvulas e outros “gargalos” que atrapalham o fluxo d’água. Não é preciso se preocupar com isso, pois a partir do momento que a perda de carga definitiva for calculada, será dada a orientação para substituir o valor preliminar adotado aqui. (célula verde, à direita).

O mesmo princípio se aplica ao “rendimento geral”. O rendimento é a porcentagem de energia hidráulica disponível que é convertida em energia elétrica. Esse rendimento é variável em função da tecnologia aplicada. Em grandes usinas, com equipamentos fabricados por encomenda por fabricantes de

ponta, o rendimento atinge valores muito altos, turbinas podem chegar a 94%, e geradores, a 97%. Nesse caso, o rendimento total (η) é definido por :

$$\text{Rendimento}=\eta = \frac{94}{100} \times \frac{97}{100} \times \frac{91,2}{100} =0,912$$

Para micro usinas, dificilmente o rendimento é alto como nesse exemplo. Como os equipamentos precisam ser baratos, são produzidos com um nível de tecnologia menor. Além disso, são padronizados, isto é, produzidos segundo dimensões preestabelecidas , que nem sempre são as ideais para a usina que se está instalando. É como comparar uma roupa “de festa” feita sob medida, a uma roupa comprada pronta, que tem tamanhos padronizados, nem sempre se adapta perfeitamente ao corpo mas é muito mais barata.

Assim, o programa adota um valor preliminar de rendimento de 0,7. Quando o rendimento final for estimado adiante, o programa inserirá automaticamente o resultado e escolherá o mais preciso.

A queda líquida corresponde à queda bruta menos a perda de carga. A vazão mínima pelo leito do rio é uma porcentagem da vazão do rio que precisa ser mantida para não deixar nenhum trecho do rio seco. O programa sugere um valor de 10% das vazões afluentes, mas é preciso considerar também:

- ✓ A legislação ambiental, que pode estabelecer valores diferentes de Estado para Estado;
- ✓ A necessidade de água, pois os vizinhos no trecho entre a barragem e a casa de força podem necessitar de água dia e noite para irrigação, criação de peixes, etc. Antes de fazer a Usina, é preciso sempre conversar com os vizinhos, sempre respeitando suas necessidades e direitos.

Notar que na área da pasta referente ao “consumo de água”, se ocorre falta de água no período noturno ou diurno, o programa escreve

automaticamente em vermelho. Se a falta de água em um período (noturno ou diurno) é maior que a sobra de água no período oposto, o programa escreve “não regl”, ou “não regularizável”. Isso significa que em média será preciso diminuir o consumo no período ou arrumar outra fonte de suprimento de energia elétrica, conforme o exemplo da figura 11:

25	Consumo de energia	janeiro	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago
26	Consumo diurno atual (a) kWh/mês	13465,36	13472,82	13472,82	13052,82	13040,02	11780,02	11780,02	11780,02
27	Consumo noturno atual (b) kWh/mês	998,00	998,00	998,00	23378,00	23378,00	23378,00	23378,00	23378,00
28	Consumo diurno futuro (c.) kWh/mês	1440	1440	1440	2335	2559	2604	2604	2604
29	Consumo noturno futuro (d) kWh/mês	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440
30	Necessidade de água diurna (atual+fut)-m3/s	0,31	0,31	0,31	0,32	0,33	0,30	0,30	0,30
31	Necessidade de água noturna (atual + futura) m3/s	0,05	0,05	0,05	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
32	Total kWh/mês (e)	17343	17351	17351	40206	40417	39202	39202	39202
33	Consumo de água	janeiro	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago
34	Necessidade de água no período diurno- m3	13440	13447	13447	13875	14065	12970	12970	12970
35	Necessidade de água no período noturno- m3	2198	2198	2198	22378	22378	22378	22378	22378
36	Disponibilidade água a 95% diurno (m3)	25600	36400	25600	19200	19200	12600	10240	10240
37	Disponibilidade água a 95% noturno (m3)	25600	36400	25600	19200	19200	12600	10240	10240
38	Sobra (falta) de água no período noturno (m3)	23402	36202	23402	3178	3178	9578	12138	12138
39	Sobra (falta) de água no período diurno (m3)	12160	24953	12153	5325	5135	170	2730	2730
40	Volume útil do reservatório- no mínimo(m3)	0	0	0	-5325	-5135	não regl	não regl	não regl

Figura 11- Exemplo de consumo de água não regularizável

7.2 Visualização gráfica dos cálculos de produção e consumo de energia

Para se conseguir “enxergar” com mais facilidade os resultados da pasta 4- Estudos Energéticos, foi criada uma pasta chamada “graf1”, que apresenta os mesmos resultados, resumidos sob forma de gráfico.

Para que esse gráfico seja entendido, são apresentados alguns exemplos com algumas das situações possíveis. Notar que o verão chuvoso mostrado nos exemplos reflete a situação do Sudeste do Brasil. Para outras Regiões, o gráfico pode ter uma forma diferente.

A figura 12 mostra um gráfico no para uma usina com “sobra de água”, onde é possível obter muito mais energia além daquilo que se consome hoje, ou ainda daquilo que se planeja no futuro próximo. As linhas tracejadas,

correspondentes à produção de energia média e de energia garantida a 95% do tempo nunca cruzam com a linha de consumo. Isso significa que:

- ✓ É possível escolher um equipamento de menor rendimento, mais barato, pois há sobra de água. Comparando, se o combustível for grátis, o veículo não precisa ser econômico.
- ✓ É possível construir uma usina maior e vender serviços para os vizinhos (beneficiamento de cereais, cozinha industrial, congelamento, irrigação). Para vender a energia, é preciso estar legalizado como Produtor Independente de Energia.

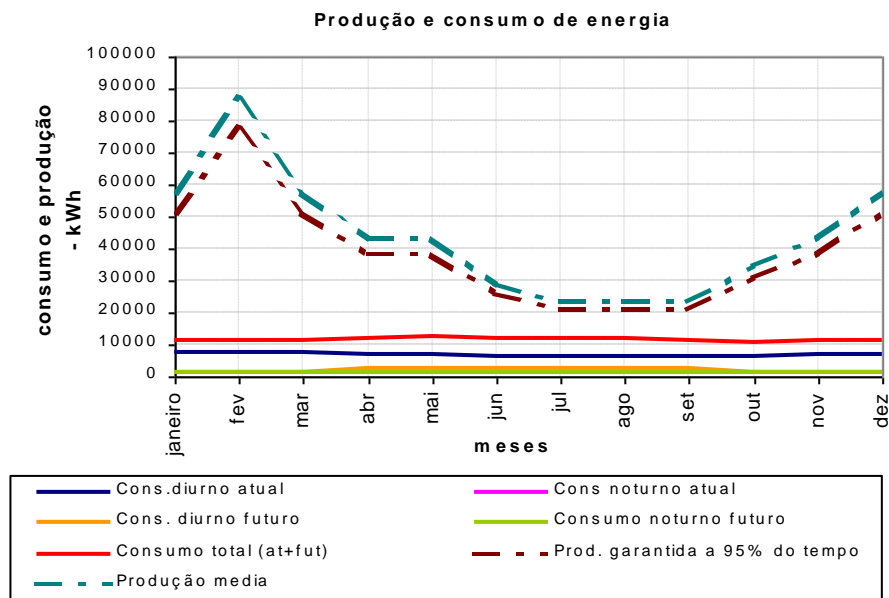


Figura 12: Exemplo de usina com “sobra” de água

- ✓ A venda de energia para a concessionária é outra possibilidade que precisa ser analisada cuidadosamente, de preferência com o auxílio de um profissional especializado. Geralmente existem exigências técnicas que implicam em equipamentos mais caros, e nem sempre o preço oferecido pode compensar.

- ✓ De um modo geral, recomenda-se prudência no dimensionamento da usina, o ideal é não tentar “voar alto demais”. Além disso, usinas muito pequenas, sem reservatório, podem facilmente ser ampliadas no futuro, quando o proprietário dominar melhor as técnicas e princípios.
- ✓ A necessidade de reservatório também é definida. Caso haja necessidade, será preciso construir uma barragem. Se o “volume necessário para regularização” for zero, será preciso apenas uma estrutura que faça a água “entrar” na estrutura de adução e se encaminhar para a turbina;
- ✓ Caso ocorra a mensagem “não regl”, significa que embora a energia total seja suficiente para as necessidades, existe um descompasso entre o consumo diurno e o consumo noturno. Esse caso possui duas soluções possíveis, a ideal dependerá do número de meses em que isso venha a ocorrer, e da possibilidade de se executar determinadas tarefas à noite:
 - ✓ Diminuir o consumo de energia diurno, programando tarefas para serem realizadas no horário noturno, como por exemplo, forno, irrigação ou bombeamento de água, ou
 - ✓ Utilizar outra fonte de energia (concessionária, lenha, diesel, etc).

Outro caso acontece quando o consumo de energia é mais alto do que a produção possível em uma época do ano, conforme o exemplo da figura 13. Esse caso exemplifica o uso da energia em irrigação. Nos períodos mais secos, geralmente a necessidade de irrigação é maior, e o volume de água disponível também é menor. Nesse caso, existem várias possibilidades:

- ✓ Suprir a falta de energia com outras fontes: diesel, eletricidade comprada, biomassa.
- ✓ Dotar o sistema de irrigação de maior eficiência, fazendo com que o gasto de energia seja menor. Muitos sistemas de irrigação tradicionais podem ser melhorados com novas tecnologias. Além disso, a barragem e

estruturas de adução podem permitir que seja feita irrigação por gravidade, sem o uso de bombas.

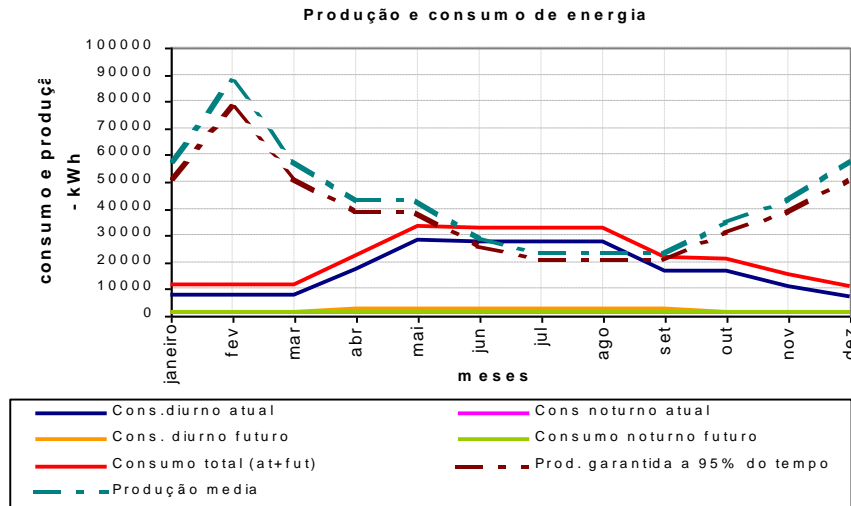


Figura 13: Consumo de energia excedendo a produção possível em uma época do ano (rendimento da turbina e gerador= 70%)

- ✓ Melhorar a tecnologia da usina. A figura 13 apresenta o gráfico de energia considerando um rendimento de 70%. Caso se adote um equipamento mais moderno, com rendimento elevado, a água vai ser suficiente ou quase, conforme o exemplo da figura 14. Notar que as curvas de produção sobem, enquanto o consumo d'água fica como no caso anterior. Máquinas de alto rendimento podem diminuir a necessidade de compra de energia.
- ✓ Se possível, transferir algumas atividades que consumam energia para o período do ano com maior vazão.

O exemplo da figura 15 indica que está havendo exploração integral do rio. À medida que essa situação se aproxima, é preciso tomar cuidado redobrado com os problemas relativos ao uso da água, e com a divisão desse recurso com os vizinhos.

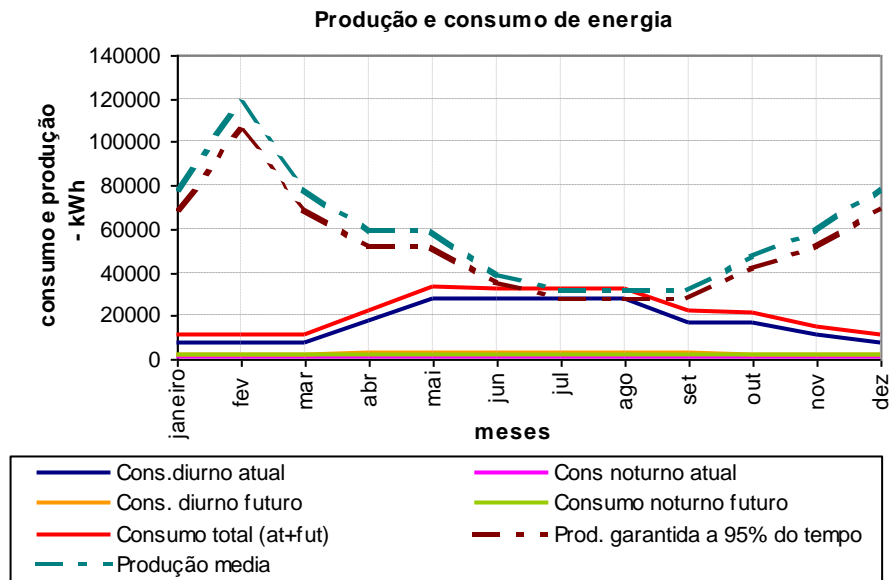


Figura 14- O mesmo caso da figura 13, trocando a máquina de baixo rendimento por outra mais eficiente

A exploração integral do rio significa também que haverá um gasto maior com barragem, equipamentos e adução, que vai precisar ser recuperado pela produção. Isso significa que o custo da energia vai ser maior, e as atividades da propriedade rural deverão ficar mais lucrativas para compensar o investimento.

Além disso, à medida que se utiliza mais e mais o potencial do rio, o volume a regularizar geralmente aumenta, elevando os gastos com a construção da barragem.

Cabe lembrar que o programa apresentado opera com valores prováveis e tem imprecisões na parte hidrológica que não podem ser evitadas mesmo quando se usa os dados disponíveis, e que podem fazer muita diferença quando se leva um aproveitamento ao limite exemplificado. Caso seja conveniente fazer um aproveitamento “integral” como o exemplificado, sugere-

se recorrer a profissionais especializados, como o engenheiro hidrólogo, como ponto de partida para o projeto.

Mais adiante, será visto como estabelecer o “ponto ideal” de motorização da usina.

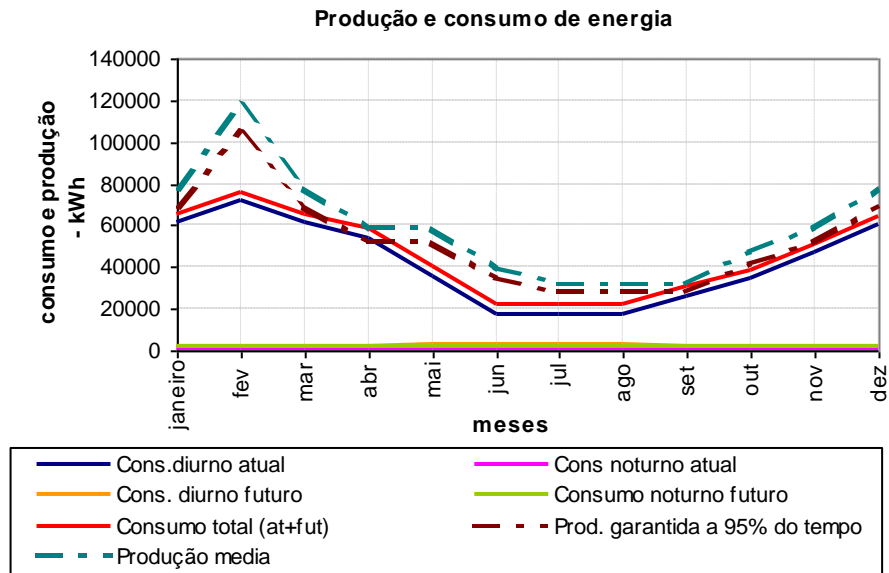


Figura 15- Exemplo de exploração completa de um aproveitamento. Quase não há sobra de energia em nenhum mês do ano.

8 RESERVATÓRIO

O Manual de Microcentrais Hidroelétricas da ELETROBRAS não aborda o tema “volume útil”, provavelmente porque época de sua elaboração seria difícil estabelecer um processo aritmético que fosse acessível ao público. Com o apoio de microcomputadores, a tarefa torna-se bem mais simples, pelo menos para uma estimativa inicial.

Na pasta 4 foi determinado o volume útil do reservatório em função da combinação das características da usina e do consumo. O volume útil mínimo

corresponde aquele determinado sem qualquer folga. O volume útil recomendado considera uma folga de 50% em relação ao volume mínimo. Essa folga é necessária para ajudar a cobrir diferenças entre o previsto e o real, tanto na operação da usina, quanto no dimensionamento do reservatório. A figura 16 mostra barragem e um reservatório vistos de lado. Apesar da barragem de cima e de baixo serem iguais, o volume útil da barragem desenhada acima é zero, porque não se pode esvaziar o reservatório. A barragem de baixo possui um tubo, ou tomada d'água, que possui uma válvula na extremidade e permite abaixar o reservatório até o limite indicado.

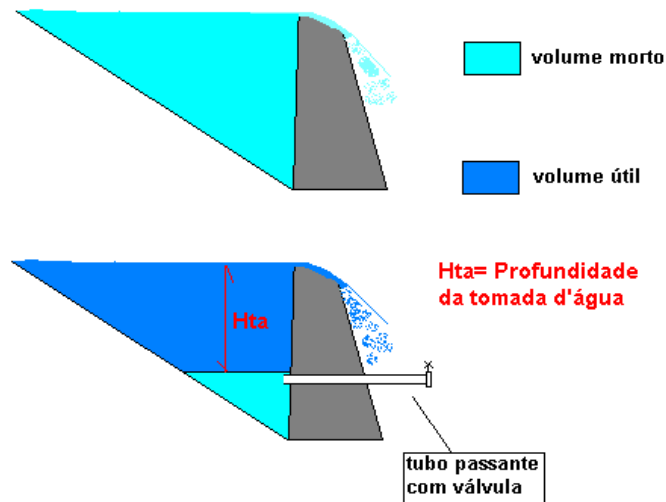


Figura 16- Volume morto x volume útil

Para ajudar a transformar o número “volume útil” em uma barragem e seu reservatório, o programa tem algumas ferramentas para achar a profundidade da tomada d'água, na pasta 5.

O primeiro processo, menos preciso, está entre as linhas 13 e 37. tem boa precisão quando o vale tem a forma de “V”, como o indicado na figura 17.

Nas células D15 a D17, colocar os valores referentes a A, B e L, em metros. O programa vai calcular o volume do reservatório para barragens com até 8 metros. O processo resulta na tabela conforme o exemplo da figura 18.

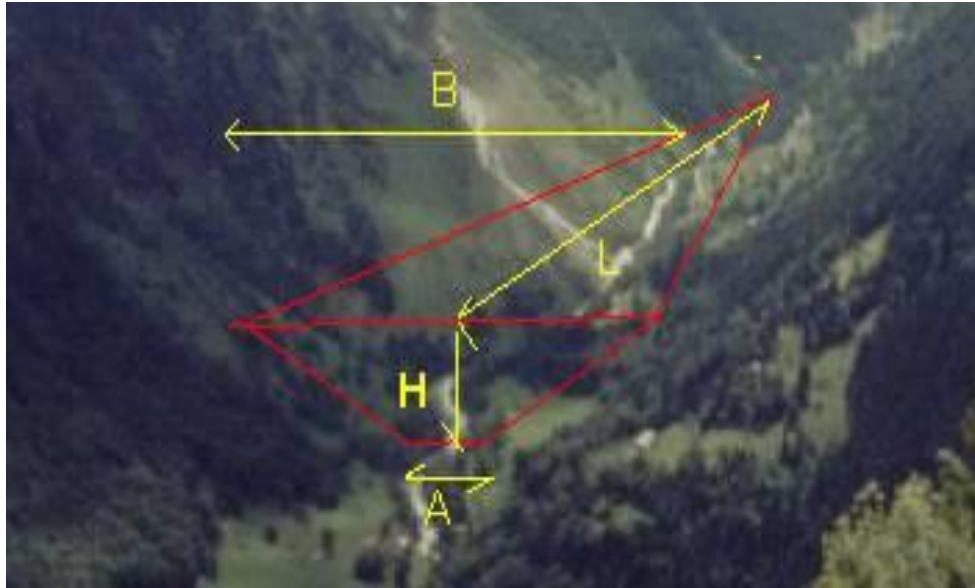


Figura 17- Vale fechado e principais elementos geométricos do reservatório

É preciso então escolher, prestando atenção nas condições do campo, qual a profundidade da tomada d'água a ser adotada, 1 metro, 2 metros ou 3 metros. Importante, essa profundidade refere-se à altura da barragem até a soleira do vertedouro. A barragem normalmente tem pontos mais altos que a soleira, principalmente se for de terra.

No exemplo da figura 18, uma barragem de 3 metros de altura com tomada d'água a 2 metros da crista do vertedouro é suficiente para atender com folga as necessidade existentes e previstas. Caso a tomada d'água esteja a 1 metro abaixo do vertedouro, a situação é apenas aceitável, mas pode ser adotada por ser mais fácil de construir.

altura desde a base m	volume bruto m ³	volume acumulado m ³	profundidade da tomada d'água Hta		
			h=1m	h=2m	h=3m
8	26678	225169	suficiente	suficiente	suficiente
7,5	25011	198491	suficiente	suficiente	suficiente
7	23345	173480	suficiente	suficiente	suficiente
6,5	21678	150135	suficiente	suficiente	suficiente
6	20011	128457	suficiente	suficiente	suficiente
5,5	18345	108446	suficiente	suficiente	suficiente
5	16678	90101	suficiente	suficiente	suficiente
4,5	15011	73423	suficiente	suficiente	suficiente
4	13345	58412	suficiente	suficiente	suficiente
3,5	11678	45068	aceitável	suficiente	suficiente
3	10011	33390	aceitável	suficiente	suficiente
2,5	8345	23378	insuficiente	aceitável	
2	6678	15034	insuficiente	insuficiente	
1,5	5011	8356	insuficiente		
1	3345	3345	insuficiente		

Figura 18- Exemplo de determinação da profundidade da tomada d'água Hta e m relação à crista do vertedor.

A figura 19 mostra uma barragem de concreto com vertedouro. Notar que há pontos da barragem mais altos que o vertedouro. Nesse caso, a tomada d'água é feita com um tubo de aço e uma válvula, e encontra-se pouco acima do ponto mais baixo da barragem. O degrau existente entre a soleira do vertedouro e a crista da barragem chama-se borda livre.

A condição “suficiente” significa que o volume está acima do mínimo regularizável, mas não é o recomendado. Se o volume está acima do recomendado, aparece a mensagem “suficiente”. É preciso então escolher , de baixo para cima, qual a menor altura da barragem (até o vertedouro) que permite a regularização. Barragens mais altas serão desperdício de dinheiro, a menos que haja outro uso previsto (piscicultura, irrigação, etc).



Figura 19- Exemplo de barragem com vertedouro. O cálculo da profundidade da tomada d'água H_{ta} é feito a partir da soleira do vertedouro

A profundidade H_{ta} da tomada d'água escolhida pelo método simplificado deve ser transportada para a célula G4. A altura útil da barragem, até a soleira do vertedor, inserir na célula H4.

O método topográfico é mais preciso que o simplificado, mas é preciso a ajuda de um agrimensor ou alguém acostumado a medir áreas. É preciso colocar nas células C46 a C47 a área do reservatório na altura correspondente (1 metro, 1,5 metro, e assim por diante). O programa calcula o volume automaticamente, e então só é preciso repetir os procedimentos descritos para o método simplificado.

Os resultados escolhidos de H_{ta} e Altura até a soleira do vertedor devem ser transportados para as células H4 e H5. o programa seleciona automaticamente o valor mais preciso.

9 TOMADA D'ÁGUA

Antes de iniciar, vale a pena estabelecer a diferença entre duas palavras que normalmente geram confusão:

- ✓ **Montante** é o lado da barragem “de cima”, que fica em contato com a água.
- ✓ **Jusante** é o lado “de baixo” da barragem. Por exemplo, a fotografia da figura 19 foi feita por alguém à jusante, olhando para montante.

As tomadas d’água estão bem descritas no Manual de Microcentrais Hidroelétricas da ELETROBRAS. Todavia, valem algumas sugestões:

- ✓ Nunca atravesse barragens de terra com tubos. Os tubos freqüentemente se deslocam com as movimentações do aterro ou ainda se rompem com a pressão do solo e acabam por causar acidentes sérios.
- ✓ Caso a barragem seja de terra, construa a tomada d’água na ombreira (ao lado) da barragem, isto é, onde o terreno é mais firme, conforme mostrado na figura 20, que mostra a barragem vista de frente. A tomada d’água pode ser de comporta ou tubo com válvula . Se a barragem for de concreto, não há problema de posição.



Figura 20- Esquema de posição de tomada d’água em barragem de terra- vista de frente

- ✓ Prefira que a tomada d’água seja o mais rasa possível. Se o reservatório não precisar de volume de regularização, a tomada d’água pode ser

colocada pouco abaixo da crista da barragem, com no máximo 50 cm de profundidade e 70 de largura. Isso permite que a comporta seja colocada e retirada Manualmente, sem a ajuda de volante, economizando as peças de acionamento (volante e rosca sem fim). Se preciso, podem ser colocadas duas ou mais comportas “de mão”, como mostrada na figura 21.

O custo da tomada d’água está relacionado às seguintes quantidades, que precisam ser calculadas caso a caso:

- ✓ Escavação em solo.
- ✓ Escavação em rocha.
- ✓ Volume de concreto ou alvenaria, das paredes laterais, frente e fundo.
- ✓ Formas.
- ✓ Transporte de materiais em condições difíceis, se for o caso.
- ✓ Peças fixas (grades e cantoneiras).
- ✓ Comporta de acionamento com volante ou comporta de mão ou registro.



Figura 21- Comporta “de mão”

As quantidades relativas “a tomada d’água são estimadas entre as linhas 60 e 80 da pasta 5. O programa permite atualizar as quantidades à medida que o projeto vai sendo detalhado, sempre escolhendo o melhor resultado disponível.

Para estimar o volume da tomada d’água, insira o comprimento, a altura (profundidade) e a espessura das paredes entre as linhas 62 e 67.

Os volumes devem ser transportados Manualmente para as linhas 72 a 80, escolhendo se o volume escavado será em solo, rocha ou misto, ou se a construção será em alvenaria ou concreto.

O item “outras escavações” refere-se ao volume de solo a ser retirado caso a tomada d’água fique na ombreira (lado) da barragem, nesses casos é preciso “rebaixar o morro” até o nível desejado.

10 BARRAGEM

O capítulo 5- Barragem do Manual de Microcentrais Hidroelétricas da ELETROBRAS descreve os diversos tipos de barragens aplicáveis e sugestões de construção. Sugere-se que o capítulo seja lido antes de iniciar.

É possível reunir algumas informações contidas no Manual, bem como outras consideradas importantes na tabela 12. A tabela é válida para a maioria dos casos até 5 metros de altura. Acima desse valor, é preciso consultar um profissional antes de iniciar a obra.

O importante ao se decidir o tipo de barragem a ser utilizado é considerar se o tipo de material de fundação suporta a barragem que está sendo estudada, se o material de construção está próximo, e se pode ser trazido facilmente. Se não houverem estradas prontas, dificilmente a construção da usina suportará a amortização dos gastos com uma estrada longa, principalmente em terrenos acidentados.

Dependendo da situação, até mulas podem ser necessárias para o transporte, conforme o exemplo mostrado na figura 22. Caso isso venha a ser necessário, é importante reduzir ao máximo a necessidade de transporte,

utilizando materiais do local, pois a capacidade de transporte por animais ou mesmo pessoas é muito reduzida. Uma mula transporta até 60 kg por viagem, o tempo de carga e descarga é grande e as perdas por tombamento da carga, elevadas. O ideal é “balancear” a escavação e o tipo de material escavado com o seu uso na construção.

Tabela 12-Sugestão para a escolha do tipo da barragem em microcentrais hidroelétricas- até 5 metros de altura			
Tipo	Material de assentamento (fundação)	Material de construção	Indicação
Soleira vertente	Qualquer, exceto barro preto mole	Rocha, Troncos, Terra	Indicada quando a barragem precisa ter menos de 2 metros de altura e é curta, com até 5 metros de comprimento. Apesar de barata, é facilmente destruída pelas cheias, mas pode compensar dependendo da situação.
Terra	Aluvião argiloso Areias finas, Solos duros ou rocha . Não pode barro preto e cascalho.	Terra, preferencialmente argilosa, que tenha “liga” quando molhada	A terra precisa estar disponível e próxima, se possível usar o material de escavação do canal. Precisa haver acesso para os equipamentos de terraplanagem. É preciso haver especo para construir o vertedouro e a câmara de carga nas laterais.
Concreto gravidade	Rocha ou solo duro, consistência de telha de cerâmica ou mais duro	Muita areia e muito cimento	Acesso fácil para trazer o cimento de caminhão. Jazida de areia próxima e com fácil acesso
Alvenarias de pedra	Rocha ou solo duro com consistência de telha de cerâmica ou mais duro	Areia, cimento e muita pedra de mão	A pedra de mão precisa estar disponível, se possível usar o material de escavação do canal
Ambursen de concreto	Rocha com consistência firme, no mínimo como concreto	Areia, cimento, formas e ferragem em quantidades moderadas	Indicada para locais de difícil acesso onde não haja pedras de mão e madeira. Requer projeto de engenheiro para executar
Ambursen de madeira	Rocha com consistência firme, no mínimo como concreto	Areia, cimento, formas e ferragem em pequenas quantidades; Muita madeira de qualidade em pranchões e vigas	Indicada para locais de difícil acesso onde a madeira seja abundante

No caso da barragem de terra existe ainda o problema da borda livre. Na figura 19, a diferença entre a crista da barragem e a soleira do vertedouro (por onde a água escorre) é a borda livre. Em uma barragem Ambursen como a da foto, ou em barragens de concreto ou alvenaria as cheias podem, dentro de certos limites, passar sobre a barragem sem maiores problemas.

Quando a água passa sobre uma barragem de terra, a “cachoeira” que se forma na face de jusante (face de baixo) erode o solo rapidamente, acarretando a destruição da barragem e dos bens e pessoas que estiverem rio abaixo. Por isso, o vertedouro da barragem de terra precisa sempre ser bem calculado e executado.



Figura 22: Transporte de material com mulas em local de difícil acesso

O programa ajuda a estimar as quantidades necessárias para executar a barragem, por cada tipo. Essas estimativas correspondem a uma média, mas que podem diferir bastante da realidade, conforme o caso.

Posteriormente, o programa aceita que sejam colocados os valores mais precisos obtidos nos detalhamentos. Recomenda-se só iniciar as obras após o detalhamento do projeto, principalmente se a barragem for grande.

10.1 Barragem de terra

A estimativa de volume de uma barragem de terra é feita na pasta 6, entre as linhas 6 e 21.

A altura da barragem até a crista do vertedor (célula E7) traz o valor adotado na pasta 5. A borda livre (célula E8) adota automaticamente o valor de 2 metros, que é usual para esse tipo de construção. Caso o projeto do vertedor adiante venha a alterar a borda livre, o valor será automaticamente corrigido.

Se for prevista a travessia de veículos sobre a barragem, o valor de crista recomendado é de 5 metros. Caso não haja tráfego na crista, o valor recomendado varia entre 2 e 3 metros, conforme a altura.

O comprimento da crista e o comprimento da base A devem ser informados.(vide figura no capítulo “reservatório”).

A inclinação do talude de jusante e de montante é sempre medida em relação à horizontal, conforme a figura existente no programa. O valor padronizado é de 30 graus. O detalhamento do projeto pode resultar em ângulos maiores, reduzindo muito o volume de aterro.

A área que a barragem ocupa é calculada na célula E16. Baseado nessa área, é feita uma estimativa de quanto será preciso escavar para retirar os materiais moles da fundação, antes de levantar o aterro. Embora seja adotado 1 metro como padrão, esse valor precisa ser melhor definido através de sondagens e investigações. Todos os materiais moles, especialmente lama preta, precisam

ser retirados. Às vezes a espessura de lama preta (chamada argila orgânica pelos engenheiros) é muito grande, podendo atingir vários metros, principalmente nos vales abertos, nos trechos mais ou menos planos dos rios. Se ocorrer essa situação, existem outras soluções, como o aterro de ponta, mas é preciso recorrer a um engenheiro.

Em função do volume a ser escavado para limpeza da fundação, é estimado o volume de aterro necessário para preencher o buraco (célula E18).

O volume de pedras de mão para proteger o talude de montante da água é calculado em função da altura e inclinação da barragem, para uma camada de 30 centímetros.

O volume de areia e pedra para filtros é estimado em função do volume da barragem (10%), na célula E21.

10.2 Barragem de concreto ou alvenaria de pedra

A estimativa de volumes encontra-se na pasta 6, linhas 24 a 39. O procedimento é similar ao da barragem de terra, mas existem algumas diferenças:

- ✓ Barragens de concreto com pista de rolamento são pouco comuns em pequenos aproveitamentos.
- ✓ A largura da crista recomendada varia de 1 a 2 metros, conforme a altura.
- ✓ A inclinação do talude de montante sugerida é de 90 graus (vertical). A do talude de jusante, 60 graus, que normalmente permite a passagem de cheias sobre toda a barragem sem maiores problemas.
- ✓ O volume de escavação para limpeza da fundação obedece ao mesmo critério e restrições das barragens de terra. A diferença é que o “buraco” será preenchido com concreto.

- ✓ Barragens de concreto ou alvenaria de pedra utilizam muito pouca armadura (ferragem) e a quantidade de formas é pequena, por permitir muitos reaproveitamentos.

10.3 Barragem Ambursen

O programa ajuda a fazer uma primeira estimativa das quantidades envolvidas na construção de uma barragem Ambursen com paramento (parede de montante) em concreto, entre as linhas 45 a 62 do programa. Sendo preciso observar que:

- ✓ Mais uma vez, todos os volumes precisam ser verificados em projeto, o cálculo é apenas uma estimativa inicial;
- ✓ A barragem Ambursen normalmente tem o ângulo do paramento de montante a 45 graus;
- ✓ A espessura considerada para o paramento de concreto é de 15 centímetros, fixa para todos os casos;
- ✓ O volume de subestrutura (vigas e colunas) foi estimado em metade do volume do paramento;
- ✓ A quantidade de armaduras(ferragens) do concreto foi avaliada em 110 kg/m³ de concreto, compatível com a estrutura, e a de formas, em metade da área do paramento de montante.

11 CANAL DE ADUÇÃO

11.1 Visão geral

O Canal de Adução ocupa a seção 4.2 do Manual de Microcentrais Hidroelétricas da Eletrobrás. Recomenda-se a leitura de todo o texto antes de começar.

No programa, a pasta 7 tem a finalidade de calcular as dimensões do canal. A pasta 8 tem como finalidade realizar a estimativa dos volumes necessários à execução do canal, que serão utilizados no orçamento.

Existem várias formas de cálculo de capacidade de canais. Aqui se adota o processo de Manning. O cálculo do canal é feito por tentativa e erro. O canal estará bem dimensionado quando duas condições forem atendidas:

Capacidade de descarga: A capacidade do canal deve ser adequada ao engolimento da Usina, definido na pasta 4. Se o canal calculado tiver vazão inferior à necessária, será avisado na célula D17. Se o canal tiver vazão calculada maior que 15% da necessária, será avisado na célula D18. Caso o aviso passe despercebido, as células E31 a E34 aparecerão com a observação “recalcular”.

Velocidade admissível: Cada tipo de material suporta uma determinada velocidade de água sem erodir, conforme a tabela 13:

Tabela 13- Velocidades suportadas por diversos materiais	
material	m ³ /s
Terra solta, areia	0,3
Saibro	0,4
Seixos	0,8
Materiais consistentes-tijolos, blocos nus, solo cimento	2,0
Alvenaria revestida	2,5
Rocha compacta	4,0
Concreto	4,5

Caso a velocidade máxima da água no canal ultrapasse a recomendada, será avisado na célula D24. Se o aviso for desprezado, as células E31 a E34 aparecerão com a observação “recalcular”.

Assim, é preciso ajustar os valores referentes às dimensões do canal, materiais, etc, até que todas as condições sejam atendidas.

11.2 Preenchimento da planilha

A célula D5 exhibe o valor do engolimento da Usina, definido na planilha 4. É preciso inserir os dados referentes à inclinação das paredes do canal, conforme a tabela 14 e figura 23 :

Tabela 14- Inclinação “m” das paredes do canal	
rocha, alvenaria, concreto	0,0 a 0,50
rocha fissurada	0,5
argila ou terra compacta e dura	1,0
terra solta, areia solta	3,0

Vale lembrar que a altura “h” é a altura efetiva da água dentro do canal. O programa calculará a altura final do canal, incluída uma “folga”, mais adiante.

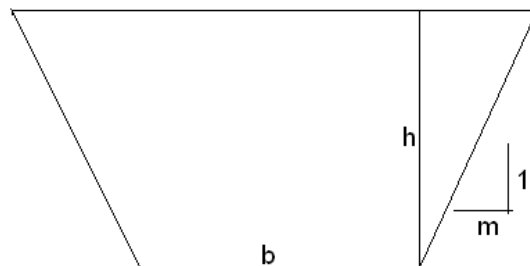


Figura 23- Dimensões do canal de adução

A rugosidade da parede do canal é importante porque define o atrito entre a água e as paredes. Rugosidades (atritos) altos diminuem a velocidade e a capacidade de descarga do canal. A tabela 15 mostra as rugosidades para diversos materiais. Os valores valem somente para o processo de Manning; outros processos de cálculo apresentam coeficientes parecidos, não confundir.

Tabela 15 – Rugosidades para diversos materiais.	
Concreto pré-moldado	0,013
Concreto acabado	0,015
Concreto sem acabamento	0,017
Concreto projetado	0,020
Gabiões	0,030
Vegetação	0,035
Aço	0,012
Ferro fundido	0,014
Aço corrugado	0,022
Solo nu	0,023
Rocha nua	0,035

A declividade (inclinação) do canal é definida pela fórmula:

$$\frac{\text{cota (altura) inicial - cota final}}{\text{comprimento do canal}}$$

Por exemplo, um canal que “desça” 1 metro em 1000 metros tem declividade $1/1000 = 0,001$. Recomenda-se adotar a declividade 0,0004, que corresponde a uma “queda” de 0,4 metro a cada 1000 metros. Contudo, canais pequenos podem ser projetados com declividade até 0,0008, ou 80 centímetros a cada 1000 metros. Notar que quanto maior a declividade, maior a perda na queda da usina, e menor a potência gerada. Para usinas com quedas altas, a perda é menos significativa.

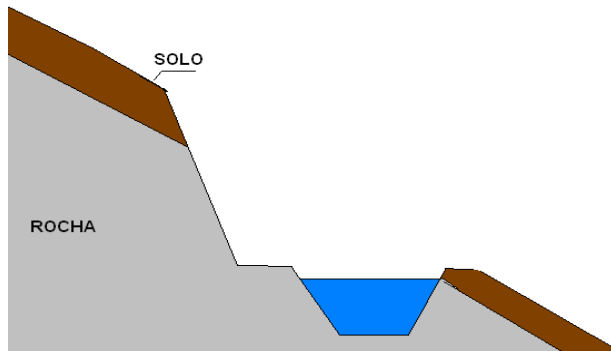
As células D13 e D16 mostram grandezas utilizadas pelo programa. A célula D17 é a vazão calculada para o canal, e D18 e D18 verificam se a vazão é suficiente ou excessiva.

As células D22 a D24 verificam se a velocidade da água no canal é compatível com o revestimento adotado. Na célula D23, é preciso colocar a velocidade máxima admissível, conforme tabela 13. Notar que o revestimento deve ser o mesmo da célula “Rugosidade”. Caso a velocidade seja excessiva, aparece o aviso na célula D24.

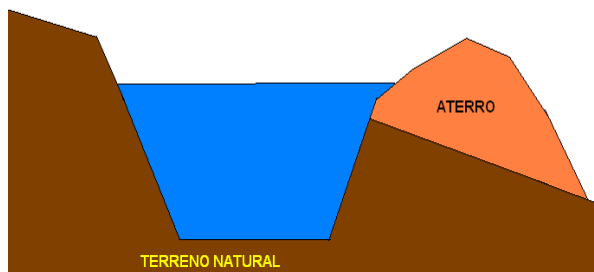
O cálculo final do canal e a confirmação de que todas as condições foram atendidas é feito nas células E28 a E37. Caso alguma condição não esteja normal, aparece a mensagem “recalcular”.

11.3 Cálculo de quantidades no canal de adução

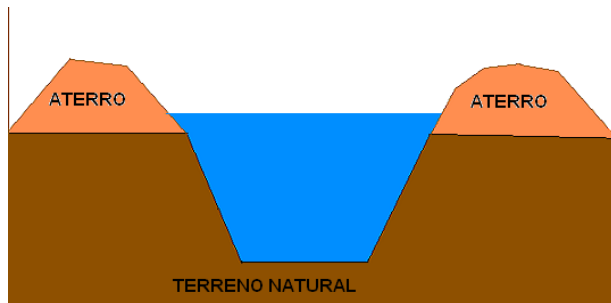
O canal de adução pode ser concebido de diversas formas diferentes. A figura 24 mostra algumas dessas opções:



O canal em encosta íngreme geralmente acarreta a escavação em rocha ou materiais resistentes. Atenção especial deve ser dada à contenção da camada de solo que freqüentemente existe sobre a rocha, que costuma deslizar.



O canal em encosta moderada geralmente envolve a escavação de materiais terrosos, que podem ser acumulados para formar uma lateral do canal. Nesse caso, os materiais devem ser compactados. A encosta deve ser suave para garantir a estabilidade do aterro.



Em áreas quase planas, o material escavado do canal pode ser usado para compor a parte superior das paredes.

Figura 24- Esquemas comuns para o canal de adução

O programa auxilia a fazer uma primeira estimativa de quantidades para o canal de adução. **A quantidade final somente poderá ser definida após a realização de medições topográficas e a verificação do tipo de terreno no qual o canal será construído.**

O assistente para estimativa de quantidades no canal de adução está localizado na Pasta 8 do programa.

Na seção “dados gerais”, entre as linhas 3 e 11, é preciso inserir somente o comprimento do canal na célula D4. Para facilitar, o programa repete nas células D5 a D11 os cálculos de tamanho do canal feitos na pasta 8.

Na seção “revestimento do canal” entre as linhas 14 e 18, é preciso inserir o tipo de revestimento (alvenaria , concreto ou outro) e a espessura do revestimento, em centímetros. O programa calcula o volume de revestimento e a respectiva área, já com uma folga para evitar transbordamento.

Entre as linhas 26 e 77 é possível estimar o volume de escavação e aterro para um canal escavado inteiramente em solo, em um relevo plano, conforme mostra a figura 24. O cálculo de um canal em encosta será visto adiante. O solo escavado é compactado ao lado do canal, e os “morrinhos” ajudam a compor as paredes. Para isso, é preciso que os “morrinhos” sejam bem compactados (socados).

Na tabela, é dado espaço para a colocação de até 12 seções transversais ao canal. Isso significa que se deve imaginar o canal sendo “fatiado” em vários locais, formando várias seções 9 (ou fatias) como aquelas mostradas na figura 24.

Na célula B 27 e semelhantes abaixo o programa calcula o valor da escavação mínima que é correspondente a 75% do volume do canal. Os demais 25% serão produzidos pelos “morros” laterais.

Na célula C27 e demais semelhantes abaixo deve ser inserido o valor da área adicional a ser escavada por seção. Essa área adicional corresponde a saliências no terreno que precisarão ser removidas para se deixar o fundo do canal na altura correta, conforme figura 25.

Em seguida, é preciso inserir a distância entre as diversas seções nas células E28 e suas semelhantes abaixo. O volume de escavação total é mostrado na célula F50.

Caso o canal seja construído à meia encosta, é provável que exista rocha

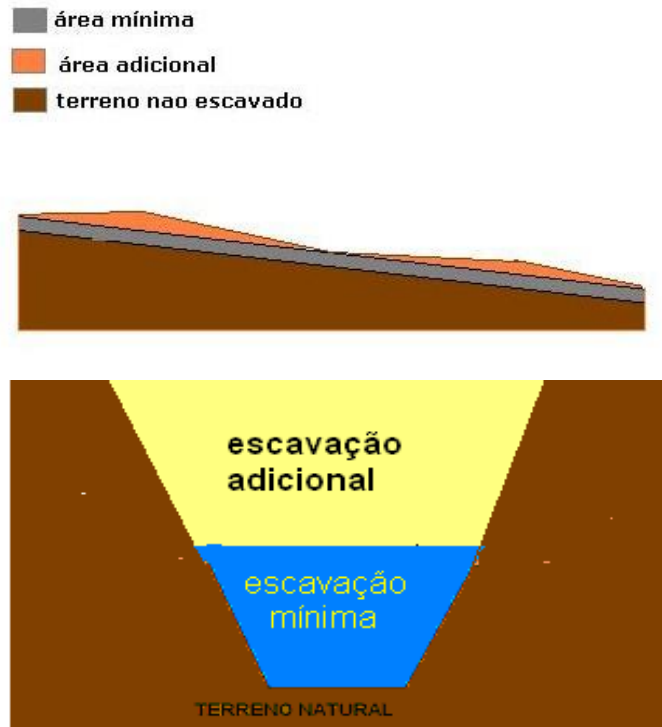


Figura 25- Exemplos de área adicional no cálculo do volume de escavação do canal (vista lateral e seção)

a ser escavada, pois em geral as encostas íngremes somente se mantêm firmes quando o material é suficientemente forte para evitar deslizamentos. Todavia, o que geralmente ocorre é o acúmulo de solo sobre o material mais duro. Esse solo freqüentemente desliza, razão pela qual a escavação deve seguir um projeto feito por um profissional especializado, para se evitar prejuízos futuros (figura 26).

A estimativa de volumes para esse tipo de canal é feita entre as linhas 52 e 77 da pasta 8. O procedimento é similar ao cálculo do canal em região plana, porém não há reaproveitamento do material escavado e deve ser colocada na célula G56 (e semelhantes abaixo) uma estimativa da porcentagem de rocha a ser escavada na seção. Naturalmente, essa é uma estimativa tosca, que tem como finalidade estimar as quantidades que serão utilizadas para compor o orçamento da usina.

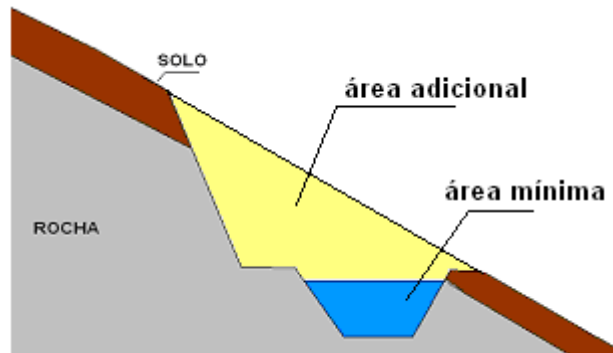


Figura 26- Escavação adicional e mínima em canal à meia encosta

Para canais pequenos em encostas íngremes, é mais conveniente cobrir o canal com uma laje, pelo menos nos trechos mais sujeitos a deslizamentos, conforme exemplo da figura 27. Assim, pequenos deslizamentos não obstruirão o canal. Além da interrupção da produção de energia, a terra obstruindo o canal causa seu transbordamento, com risco de danos sérios às encostas abaixo do canal. (figura 28).



Figura 27- Canal de adução recoberto com laje



Figura 28- Dano à encosta abaixo do canal de adução mostrado na figura 27, pela obstrução por um pequeno deslizamento de terra. O dano maior foi causado encosta abaixo, pelo transbordamento do canal.

Além disso, é muito freqüente ser necessária a contenção de encostas ao longo do canal, principalmente quando o canal se torna mais largo, encarecendo a laje de cobertura. Como não é possível prever a totalidade dessas situações mesmo de forma aproximada, o valor das contenções deverá ser estimado pelo empreendedor, somente na fase de formulação do orçamento.

As contenções devem privilegiar a economia, principalmente naqueles locais onde o transporte é difícil. O solo cimento (mistura de 10 partes de solo local e 1 parte de cimento) pode ser acomodado em sacos e socado, formando muros de contenção e preenchimento, como se vê na figura 29.



Figura 29- Contenção na encosta ao longo de um canal . Sacos de solo cimento contidos com cantoneiras metálicas

Outro tipo de contenção é obtido fixando-se uma tela metálica com barras de aço cravadas no solo firme aproximadamente 1 metro e recobrimdo a tela com uma camada de argamassa, conforme figura 30.



Figura 30- Contenção em solo grampeado; esquema de construção e foto de uma encosta tratada.

12 TUBULAÇÃO DE BAIXA PRESSÃO

A tubulação de baixa pressão está descrita no item 5 do Manual de Microcentrais Hidroelétricas da Eletrobrás. Recomenda-se a leitura do capítulo antes de iniciar o programa.

O importante na tubulação de baixa pressão é comparar seu custo com o canal de adução, (utilizar um ou outro) ou ainda suprimir o circuito de baixa pressão e câmara de carga, iniciando o conduto forçado já na barragem. A melhor opção final dependerá de local para local, por isso sugere-se utilizar o programa para analisar as diversas alternativas.

A tubulação de baixa pressão pode ser construída em diversos materiais:

- ✓ Aço.
- ✓ Concreto.
- ✓ Tubos plásticos, dentre os quais destacam-se:
 - ✓ Tubos marrons em PVC, para instalações residenciais.
 - ✓ Tubos de plástico PEAD (polietileno de alta densidade).
 - ✓ Tubos plásticos reforçados com fibra de vidro.
 - ✓ Tubos para irrigação.

Os tubos plásticos tem experimentado um desenvolvimento muito grande, e a cada dia surgem novos produtos capazes de suportar pressões mais elevadas, em diâmetros cada vez maiores. Apresentam algumas vantagens sobre as tubulações de aço, pois em geral são mais flexíveis e sua instalação é mais simples, dispensando a execução de blocos de apoio. Não precisam de pintura, mas alguns plásticos estragam com o passar do tempo devido ao sol, por isso recomenda-se que sejam enterrados ou pintados.

A tabela 16 compara as principais características dos tubos plásticos disponíveis no ano de 2004. Notar que alguns tipos e diâmetros de plástico requerem que os tubos sejam enterrados. Portanto, o fabricante deve ser consultado na fase de detalhamento do projeto, inclusive quanto aos preços.

Tabela 16- Guia de referência para adutoras plásticas				
Tipo	Pressão máxima (metros de coluna d'água)	Diâmetro máximo (cm)	Comentários	Fabricante mais famoso (convém consultar outros)
PVC marrom	75	11	barras de 6 metros; produto facilmente encontrado; diâmetro limitado	diversos, produto padronizado
PVC irrigação	80	15	barras de 6 metros, produto facilmente encontrado (irriga LF) Flexibilidade moderada, simplifica instalação	Tigre www.tigre.com.br 0800.7074400
PVC irrigação	150	50	barras de 6 metros, montagem e desmontagem simplificada com luvas de encaixe (irriga LF defofo) Flexibilidade moderada, simplifica instalação	
PEAD	100	100	barras de 6, 12 e 18 metros acima de diâmetro 12,5 cm. bobinas com 100 metros para diâmetros abaixo de 12,5 cm requer solda com mão de obra treinada. Muito flexível, simplifica instalação. Produto mais caro que o aço, porém a instalação mais barata reduz o preço final. Possui linha de flanges e conexões para juntar com partes metálicas Pode ser preciso enterrar, em função do diâmetro.	Brastubo www.brastubo.com.br (11) 3814.7860 (11) 6431.6400
	200	56		
(PRFV) Plástico reforçado com fibra de vidro	encomenda	encomenda	Produto caro, mas por ser leve pode ser transportado “na mão” através de caminhos difíceis, resolvendo problemas específicos. Requer mão de obra especializada para soldagem. Pouco flexível, requer assentamento preciso. Peças para conexão são disponíveis	Fabricantes disseminados PETROFISA (41)6261.1531 POLIPLASTER (31)3592.1399 TG FIBERGLASS (11)4787.6494 PFI POLIFIBRA (11) 5528.1843
Nota: A menção a fabricantes tem a finalidade exclusiva de propiciar aos interessados pelo um contato para referência e informações. Não há propósito comercial, e os autores e editores não se responsabilizam por problemas advindos da indicação da referência				

A figura 31 mostra a instalação de um tubo de plástico reforçado com fibra de vidro em um local de acesso difícil, onde a alternativa seria trazer tubos de aço com o uso de helicóptero. Notar a leveza do material.

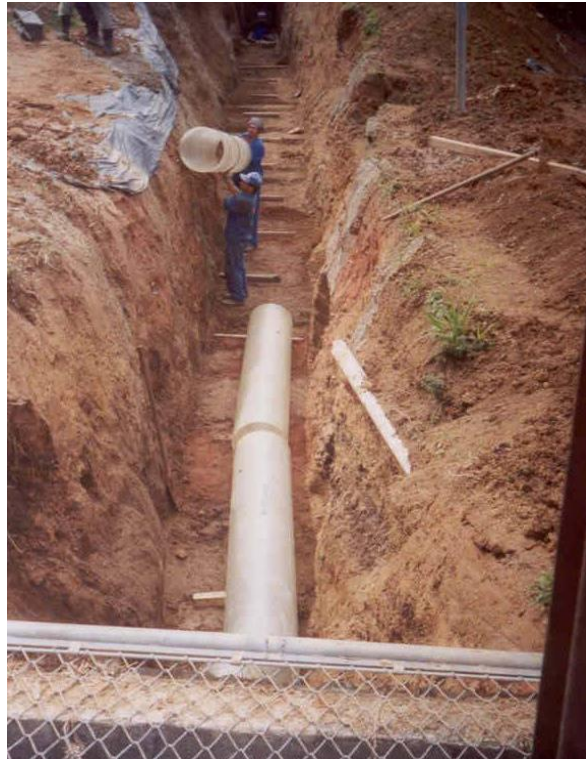


Figura 31- Instalação de tubo de PRFV em um local de difícil acesso

Para calcular a tubulação de adução de baixa pressão, é preciso abrir a pasta 9 do programa. O diâmetro da tubulação vale para aço e plástico, e o cálculo da espessura, somente para aço.

Vale dizer que o cálculo do diâmetro e espessura não seguiram as fórmulas do Manual de Microcentrais Hidroelétricas da Eletrobrás, que, apesar de simplificadas, levariam a quantidades maiores de aço. A fórmula de Bondschu foi aplicada conforme o Manual de Pequenas Centrais Hidroelétricas da Eletrobrás.

Os “dados iniciais” estão entre as linhas 4 e 8. O desnível e o comprimento do canal devem ser colocados nas células D7 a F8. O programa permite que sejam adicionados dados mais precisos, partindo de uma estimativa inicial, e sempre utiliza o de maior precisão, mostrados nas células G7 e G8.

Vale lembrar que o desnível (linha 7) corresponde à diferença, em metros, do nível mínimo do reservatório até o nível normal da câmara de carga, conforme mostrado na figura 32.

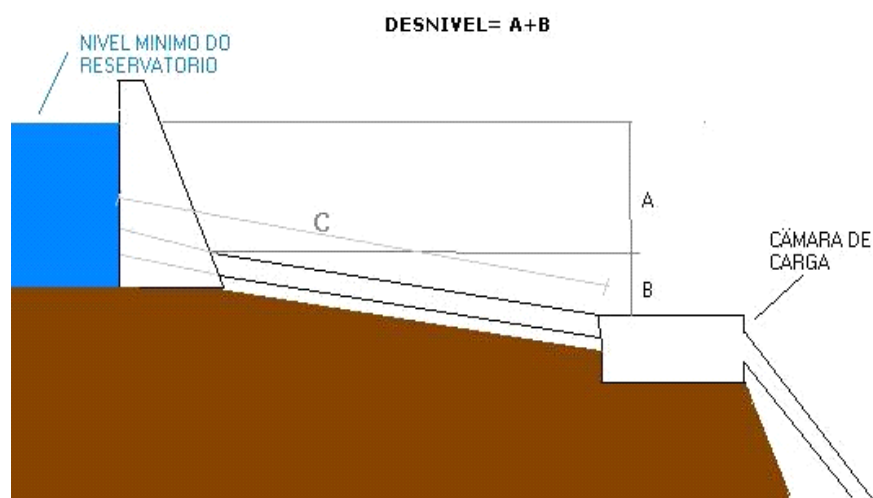


Figura 32- Exemplo do desnível a ser aplicado no cálculo da tubulação de baixa pressão.

O cálculo do diâmetro da tubulação de baixa pressão é desenvolvido entre as linhas 15 e 18. É preciso inserir na célula G17 a velocidade máxima permissível, conforme o tipo de material, de acordo com a tabela existente na planilha. O diâmetro mínimo e a velocidade são calculados nas células G15 e G16. Caso a velocidade não seja adequada, a célula G18 indica “recalcular”. Caso isso ocorra, é preciso testar valores sucessivamente maiores na célula H15, até que a célula G18 retorne “sim”. Por exemplo, se o diâmetro calculado em G15 for de 100 centímetros e a velocidade estiver excessiva, colocar 105, 110, 115, e assim por diante na célula H15, até que o resultado seja aceitável.

Quando se calcula a espessura do tubo em aço, é preciso considerar que existem muitos tipos de aço diferentes, cada um deles com características de resistência e flexibilidade diferentes. Para microcentrais, o mais prático é comprar tubos padronizados, ou “Schedule”, ainda que o diâmetro ou espessura sejam um pouco maiores que o calculado (nunca menores). Esses tubos são mais baratos e podem ser comprados com facilidade. Além disso, é um material que pode ser trabalhado por um soldador que não tenha muita experiência ou qualificação.

Assim, o cálculo da espessura dos tubos de aço adotado no Manual e nesse programa vale somente para o aço dos tubos “Schedule”. Caso haja necessidade de empregar outro tipo de aço ou outro material, como plástico, é importante consultar o fabricante na época do detalhamento de projeto.

A espessura da parede do tubo de aço é calculada automaticamente entre as linhas 22 e 25 do programa. Na linha 24, é dada a espessura mínima. Muitas vezes a pressão da água é baixa, e o cálculo de espessura pela pressão leva a valores muito pequenos, que tornam as soldas mais difíceis e propiciam deformações nos tubos durante o transporte. É preferível então gastar um pouco mais no aço do que enfrentar esses problemas. Por isso, o programa usa a espessura mínima da parede do tubo se necessário.

Entre as linhas 27 e 29 é calculado o peso do aço a ser utilizado, já com 10% de folga para cobrir os custos com acessórios, juntas, flanges, etc. Essas quantidades serão utilizadas adiante, para compor o orçamento.

As linhas 31 a 37 fornecem uma estimativa das quantidades necessárias para construir os blocos de apoio em concreto. Essa estimativa é apenas uma primeira avaliação, pois não é possível prever todas as situações possíveis. O espaçamento entre os blocos é calculado a partir da tabela existente no Manual de Microcentrais Hidroelétricas da ELETROBRAS, limitado a 9,0 metros. A partir do espaçamento, é calculado o número de blocos, e o seu volume, estimado à razão de duas vezes o volume de 1 metro linear de adutora. Essa

estimativa deve superar a quantidade efetivamente necessária para a maioria dos casos reais. Recomenda-se desenvolver o projeto da adutora antes de construir a Usina, melhorando a confiabilidade dos números. Um bom projeto provavelmente irá reduzir a espessura das paredes do tubo e o volume de concreto dos blocos, diminuindo os custos.

Notar que os blocos de apoio, ou selas, somente serão necessários caso o tubo seja de aço. Caso o tubo seja de plástico ou concreto, a instalação poderá ou não ser feita sem o emprego desses blocos, dependendo de consulta ao fabricante.

13 TUBULAÇÃO DE ALTA PRESSÃO OU FORÇADA

A diferença entre a tubulação de baixa pressão e a forçada ou de alta pressão (figura 33) é que essa última precisa suportar pressões de água muito maiores. Para isso, as paredes dos tubos precisam ser mais grossas, e quanto mais grossas as paredes, mais caros são os tubos.

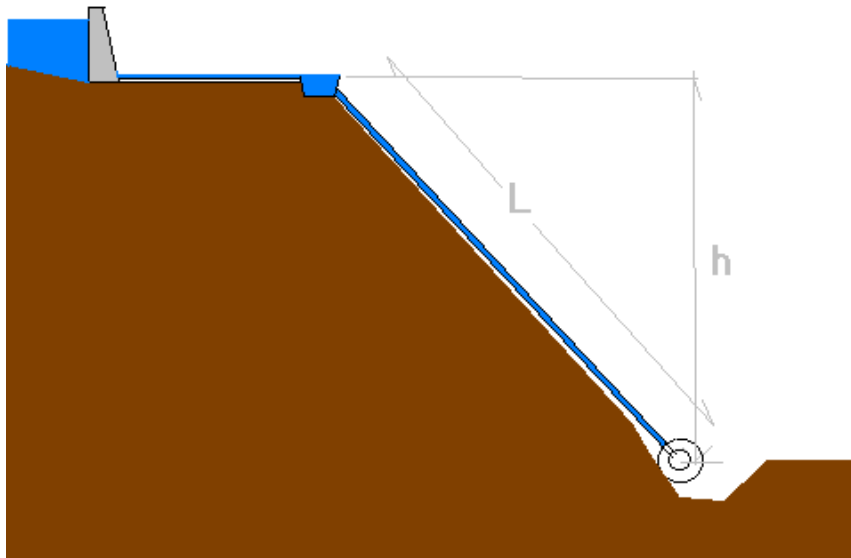


Figura 33- A queda bruta é maior que o desnível da tubulação de baixa pressão

A solução para diminuir o custo é forçar a água em um tubo com diâmetro menor, diminuindo a quantidade de material utilizado. Porém a passagem de uma mesma vazão de água em um tubo mais fino faz com que a velocidade da passagem da água seja maior. Quanto maior a velocidade dentro do tubo, maior é o atrito com as paredes do tubo. O atrito maior “rouba” pressão da água, a chamada perda de carga, que pode ser medida em metros ou centímetros..

O segredo é então equilibrar as perdas na adutora com os gastos com o tubo. A fórmula de Bondschu, utilizada pelo Manual de Pequenas Centrais Hidroelétricas da Eletrobrás, faz isso bem e é utilizada no programa para cálculo da tubulação.

Outra diferença entre a tubulação forçada e a de baixa pressão é o golpe de aríete. O golpe de aríete acontece quando ocorre algum problema na usina e a turbina precisa fechar a entrada de água automaticamente para evitar danos ao equipamento. A água que desce pela adutora precisa parar rapidamente, aumentando a pressão nas paredes do tubo. Podemos comparar a um desastre em uma estrada, quando um carro freia repentinamente e vários carros batem uns nas traseiras dos outros, tendendo a “espalhar” fora da estrada.

O golpe de aríete acarreta variações de pressões positivas (forçando de dentro para fora) e negativas (forçando de fora para dentro). A figura 34 mostra uma tubulação rompida por excesso de pressão nessa usina, concluída em 1911, as chapas da adutora são demasiadamente finas. Notar que as chapas são rebitadas, pois a solda não era aplicada naquela época. A grande vazão passando pela parte rompida causou um excesso de pressão de fora para dentro, “murchando” o tubo em uma grande extensão (figura 35).



Figura 34- Tubulação rompida por excesso de pressão.



Figura 35- “Murchamento” da tubulação forçada por pressão externa.

Para evitar esses problemas, é preciso dimensionar corretamente a tubulação. Existem outros recursos, como colocar válvulas de segurança para evitar o “murchamento”. É possível economizar também utilizando tubos de espessuras maiores, à medida que aumenta a pressão d’água. O programa não possui esse refinamento, por isso é importante detalhar o projeto antes da execução, para se obter maior segurança e custos menores.

Além disso, a tubulação forçada precisa ter juntas de dilatação para absorver as dilatações e contrações que a variação de temperatura causa na adutora, e blocos de ancoragem, que têm a função de “travar” a adutora em uma posição, impedindo que ela venha a se movimentar morro abaixo.

O programa calcula a tubulação forçada na pasta 10. Como é muito parecida com a pasta 9, é importante tomar cuidado para não confundir.

Os dados básicos da tubulação forçada estão entre as linhas 3 e 8. O programa “chama” o valor da queda bruta na célula G7. Entre as células D8 e G8, deve ser colocado o comprimento “L” da adutora, conforme a figura 33 e conforme o nível de precisão do dado disponível. O programa vai sempre adotar o número mais preciso.

O diâmetro da tubulação é calculado automaticamente na célula G15, e a velocidade, na célula G16. A velocidade admissível do material da adutora é colocada na célula G17, conforme a tabela existente no próprio programa. Se a velocidade calculada for adequada, a célula G18 vai mostrar “sim”. Se for maior que a permitida, a célula G18 vai apresentar a mensagem “recalcular”. Se isso acontecer, é preciso mudar o diâmetro da adutora (célula H15), aumentando devagar até que a velocidade caia abaixo da permitida, e a célula G18 apresente o “sim”. O resultado do diâmetro da adutora é mostrado na célula I15.

A perda de carga é calculada automaticamente na célula D24, bastando colocar o valor de K_a na célula D23. K_a é um número que está relacionado ao atrito da água nas paredes do tubo, conforme a velocidade. O valor de K_a está mostrado na tabela existente no programa.

A espessura da parede do tubo é calculada a partir da pressão adicional causada pelo golpe de aríete. Na célula D30 é preciso colocar o tempo de fechamento da turbina durante uma emergência. O valor varia de fabricante para fabricante, de turbina para turbina, mas é possível sugerir 6 segundos, enquanto não se tem o valor definitivo.

As linhas 31 a 33 mostram alguns valores utilizados para o cálculo da sobrepressão (estouro) e subpressão (murchamento). Os valores máximos estão representados nas células G34 e G35. Os valores de sub e sobrepressão são limitados a 35% da queda bruta.

A espessura dos tubos é calculada entre as células D37 a D40. Em D40, é apresentado o valor definitivo, que é o maior entre a espessura mínima para transporte e soldagem, a de subpressão e a de sobrepressão.

Com o valor da espessura da chapa e do comprimento total, o peso de aço é calculado na célula G44. Essas quantidades serão utilizadas adiante, para compor o orçamento.

As linhas 46 a 51 fornecem uma estimativa das quantidades necessárias para construir os blocos de ancoragem em concreto ou pedra argamassada. Essa estimativa é apenas uma primeira avaliação, pois não é possível prever todas as situações possíveis. O programa procura ajustar o espaçamento entre os blocos em torno de 80 metros.

As linhas 54 a 59 fornecem uma estimativa inicial das quantidades necessárias para construir os blocos de apoio da adutora. O espaçamento entre os blocos é calculado a partir da tabela existente no Manual de Microcentrais Hidroelétricas da ELETROBRAS, limitado a 9,0 metros. A partir do espaçamento, é calculado o número de blocos, e o seu volume, estimado à razão de duas vezes o volume de 1 metro linear de adutora. Essa estimativa deve superar a quantidade efetivamente necessária para a maioria dos casos reais.

Recomenda-se desenvolver o projeto da adutora antes de construir a Usina, melhorando a confiabilidade dos números. Um bom projeto

provavelmente irá reduzir a espessura das paredes do tubo e o volume de concreto dos blocos, diminuindo os custos.

Notar que os blocos de apoio ancoragem serão necessários caso o tubo seja de aço. Caso o tubo seja de plástico ou concreto, a instalação poderá ou não ser feita sem o emprego desses blocos, dependendo de consulta ao fabricante.

14 TURBINA, GERADOR E REGULADOR DE VELOCIDADE

14.1 Uma escolha tecnológica

Quando se trata de máquinas pequenas, são muitos os níveis e opções tecnológicas que o empreendedor pode aplicar, especialmente se a água é abundante e pode ser aduzida a baixo custo até a casa de força. O exemplo da substituição do Gharat é interessante. Populações muito pobres do Himalaia utilizam tradicionalmente uma roda d'água (Gharat) para moagem de grãos (figura 36), cuja eficiência foi estimada em 20%.

A energia elétrica também pode ser obtida do Gharat, por intermédio de um pequeno dínamo de bicicleta acoplado à pedra de moinho (figura 37). A modernização dos Gharats consistiu na substituição do rotor de madeira por um de ferro fundido com eficiência estimada em 50% (figura 38), ou um rotor de fluxo cruzado (figura 39), além de alterações no sistema de injeção d'água.

Como resultado das modernizações foi propiciado um suprimento extra de energia às pessoas beneficiadas pela modernização. O sistema resultante (figura 40) permite cambiar a utilização da potência mecânica diretamente no moinho (direita) com a geração de energia elétrica (esquerda), apenas com a mudança das correias .



Figura 36- Gharat de madeira



Figura 37- Dínamo “de bicicleta” acoplado à pedra de moinho do Gharat de madeira



Figura 38- Gharat modernizado com injetor e rotor metálico

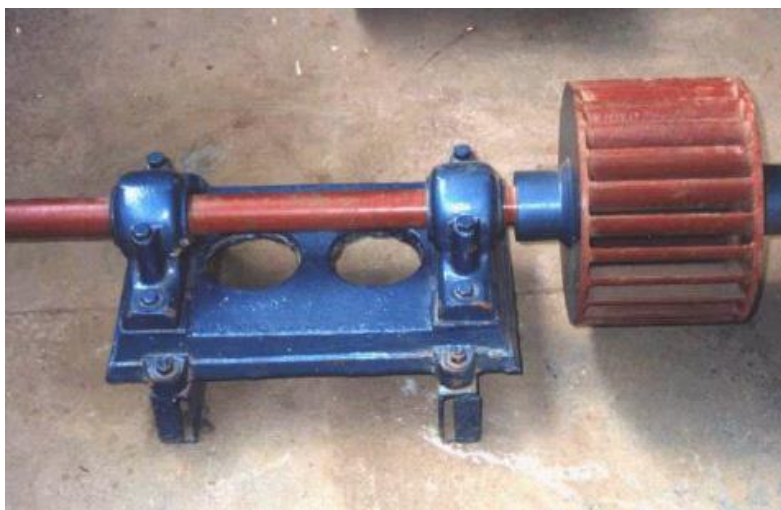


Figura 39- Pequeno rotor de fluxo cruzado substituindo o rotor de madeira



Figura 40 - O sistema resultante permite cambiar força motriz e geração elétrica

No outro lado, países com maior tradição e nível tecnológico produzem kits de conjuntos turbina/gerador padronizados, com montagem simplificada - o da esquerda na figura 41 vem até com engate rápido . Mais do que preço ou tecnologia, a maior vantagem dos kits é simplificar o acesso à energia.



Figura 41- Kits de turbina e gerador prontos para montagem

Na medida do aumento da potência, é natural que os equipamentos passem a ser produzidos mediante encomenda, apesar dos projetos

padronizados. No Brasil, a produção por encomenda acontece desde as potências mais baixas, devido à baixa demanda, encarecendo o equipamento e afastando os interessados.

Para um produtor rural, o mais interessante na maioria dos casos é trocar a sofisticação de um produto de alta tecnologia, mais caro, por um produto de tecnologia aceitável, que seja suficientemente robusto e que tenha menor preço.

14.2 Sincronização e multiplicadores de velocidade

Para o perfeito funcionamento da maioria dos equipamentos elétricos é preciso que a frequência da corrente fornecida seja correspondente à frequência nominal do equipamento, usualmente 60 Hz.

Logo, o conjunto formado pelo gerador e pela turbina precisam girar na velocidade exata. O problema é que quanto mais rápido o gerador (em RPM) , mais barato ele é, pois o número de pólos elétricos é menor, como pode ser visto na fórmula abaixo:

$$\text{Frequência(Hz)} = \text{número de pares de pólos} \times \text{rotação (rpm)} / 60$$

Além disso, a maioria dos geradores encontrada no comércio é feita para trabalhar a 1800 rpm, pois são feitos para casar com motores diesel ou a gasolina. Geradores com outras velocidades também são encontrados, mas tendem a ser mais caros porque são fabricados em menor quantidade ou por encomenda.

Como nenhuma turbina trabalha nessa velocidade, (rpm) podem ser utilizados multiplicadores de velocidade, que podem ser por polias (até aproximadamente 500cv), correntes ou engrenagens, no caso das máquinas maiores. Com isso, a turbina gira mais devagar que o gerador. A faixa de rotação (rpm) por tipo de turbina está mostrada na tabela 17, e representa valores médios.

Tipo	Velocidade normal (rpm)	Velocidade de disparo /Velocidade normal
Hélice pás fixas	75-100	2,0- 2,4
Hélice pás móveis	75-100	2,8-3,2
Francis	500-1500	1,8-2,2
Pelton	500-1500	1,8-2,0
Fluxo cruzado	60-1000	1,8-2,0
Turgo	600-1000	2

Como qualquer dispositivo mecânico móvel, multiplicador de velocidade consome energia, “roubando” potência útil da turbina. (tabela 18):

Acoplamento direto turbina -gerador	1,0
Transmissão por correias planas	0,96 a 0,98
Transmissão por correias em “V”	0,94 a 0,97
Transmissão por corrente	0,97 a 0,98
Transmissão por redutor de engrenagens	$0,97^n \times 0,98^{n+1}$ onde n é o número de pares de engrenagens

Por outro lado, é possível usar os conversores de potência, que são “caixas” com circuitos eletrônicos e que estão amplamente disponíveis no mercado brasileiro e permitem converter, para potências de até 1 até 100 kVA, frequências de entrada desde 4 até 400 Hz em frequência de saída de 60 Hz. Para potências maiores, os equipamentos são produzidos por encomenda. São equipamentos duráveis e o consumo de energia é relativamente baixo. Para empregar conversores de potência, é preciso assistência de um profissional especializado, pois a técnica é mais ou menos recente, está evoluindo com muita rapidez e existem muitos modelos similares, nos quais há detalhes que podem fazer diferença no custo, na durabilidade e no desempenho.

Embora ainda sejam equipamentos caros (em números aproximados US\$ 300 para 1 kVA, US\$ 10.000 para 100 kVA) seu emprego pode ser conveniente dependendo do arranjo adotado, na medida que suprimem os

multiplicadores mecânicos, consomem muito pouca energia e ainda permitem, ampliar a faixa de escolha da turbina.

O regulador de velocidade em sistemas isolados normalmente tem seu trabalho relacionado a duas funções, o sincronismo, para manter a velocidade de rotação da máquina constante, e controle de vazões, para manter a potência da máquina compatível com a demanda. O uso de reguladores de frequência eletrônicos elimina a necessidade do regulador de velocidade operar o sincronismo, podendo resultar em um projeto mais simples.

14.3 Reguladores de velocidade

A função sincronismo do regulador de velocidade em um sistema isolado consiste em manter a turbina girando sempre na mesma velocidade, para que o gerador produza a corrente na frequência exata (60 Hz, por exemplo) (figura 42)

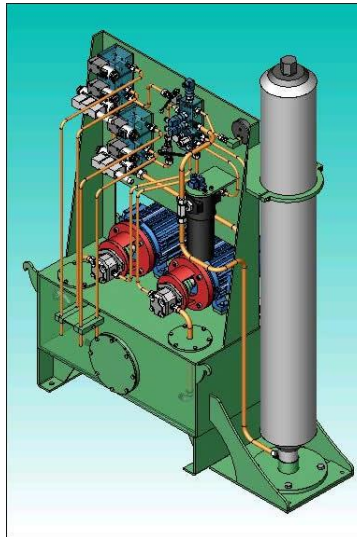


Figura 42- Exemplo de regulador de velocidade com atuação hidráulica

É possível entender melhor o trabalho do regulador de velocidade imaginando uma bicicleta, onde se precise pedalar sempre no mesmo ritmo. Se a

potência necessária aumenta (como em uma subida, por exemplo) é preciso fazer mais força no pedal para manter o ritmo, sem perder velocidade. Na turbina, isso é obtido aumentando a vazão de água. Se a bicicleta está em uma descida, é preciso diminuir a força no pedal para manter a velocidade constante. Na turbina, diminui-se a vazão de água.

Para equipamentos menores, até mais ou menos 2 kW, o regulador é simplesmente um registro de gaveta acoplado na entrada da máquina. Esse registro é aberto ou fechado manualmente, conforme a necessidade de produzir maior ou menor força no gerador. Esse esquema é mais barato porém é adequado quando não existem vários equipamentos ligados no gerador ao mesmo tempo, e que possam ligar repentinamente.

Nos equipamentos maiores, o regulador consiste em um dispositivo que “lê” a velocidade de rotação da máquina e automaticamente abre ou fecha a válvula de entrada de água automaticamente. A “leitura” da velocidade é feita por meios mecânicos ou eletrônicos, enquanto a abertura e fechamento da válvula é feito com um dispositivo geralmente hidráulico.

Alternativamente, é possível fazer com que a turbina trabalhe a plena potência durante todo o tempo. Quando a produção é maior que o consumo de energia, os excedentes são desviados e empregados para outras funções intermitentes, como aquecimento/bombeamento de água, aquecimento, etc.

14.4 Escolha do tipo de turbinas

Os principais tipos de turbinas estão exemplificados no Manual de Microcentrais Hidroelétricas da ELETROBRAS. As figuras 44 e 45 complementam as ilustrações. Apesar do tamanho da turbina Turgo mostrada, o fabricante alega ser funcional. A foto ilustra a intensidade com que já se busca energia disponível e barata, até em quantidades mínimas, em outros países.



Figura 43- Exemplo de micro-turbina Turgo.

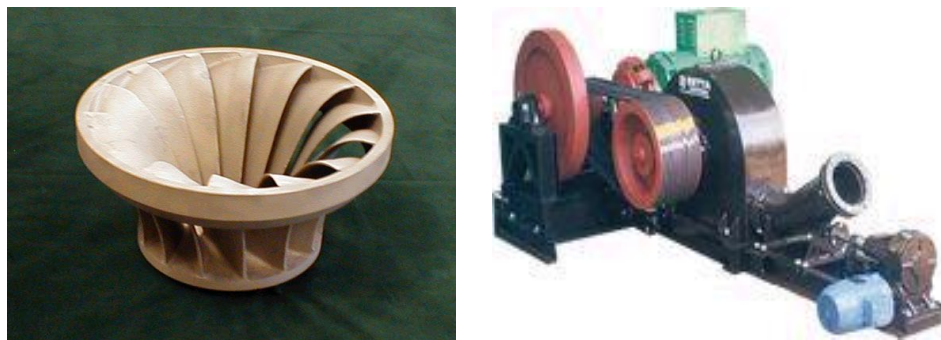


Figura 44: Rotor tipo Francis e Conjunto turbina/gerador com multiplicador de velocidade por correias

A escolha de um ou outro tipo está relacionada a alguns fatores:

- ✓ Queda líquida;
- ✓ Vazão através da turbina;
- ✓ Velocidade de rotação;
- ✓ Custo;

O critério mais confiável para a seleção da turbina é a velocidade específica, que pode ser traduzida pela fórmula :

$$Ns(kW) = n \times (P)^{0,5} / H^{1,25}$$

Onde:

ns: Rotação específica

n: Rotação do gerador (rpm), no caso de acoplamento direto ou

Rotação de entrada no multiplicador de velocidade para atingir a rotação nominal do gerador.

P: Potência em kW
H: Queda líquida em metros

Convertendo P(Kw) em P(cv) tem-se:

$$ns(cv) = 1,2 \times n \times (P)^{0,5} / H^{1,25}$$

Com a rotação específica e a queda líquida, determina-se o tipo de turbina. A partir de dados obtidos em várias turbinas instaladas, foi feita por vários autores, foi possível traçar curvas que relacionam os diversos tipos de turbinas com as velocidades específicas e queda (figura 45) e tabela 19.

Tabela 19- Faixas de ns para diferentes tipos de turbina(kW)			
Turbina	Faixa de ns	Turbina	Faixa de ns
Pelton 1 jato	3-9	Pelton 2 jatos	8-17
Pelton 3 jatos	17-25	Turgo	8-20
Fluxo Cruzado	26-172	Francis lenta	50-129
Francis normal	129-215	Francis rápida	215-344
Francis dupla	129-473	Kaplan e axiais	258-688

Por exemplo, o cálculo do ns de uma máquina de 800 kW sob uma queda de 100 metros, acoplada diretamente a um gerador de 1500 rpm resultaria em :

$$Ns = 1500 \times (800)^{0,5} / (100)^{1,25} = 134$$

A escolha da turbina recairia em uma unidade Francis. A utilização do mesmo gerador com um multiplicador de velocidade de fator 3 entre a turbina e o gerador abaixaria a rotação requerida no eixo da turbina para 500 rpm. A nova rotação específica (45) recomendaria uma máquina de fluxo cruzado, Turgo ou ainda Pelton de 2 jatos.

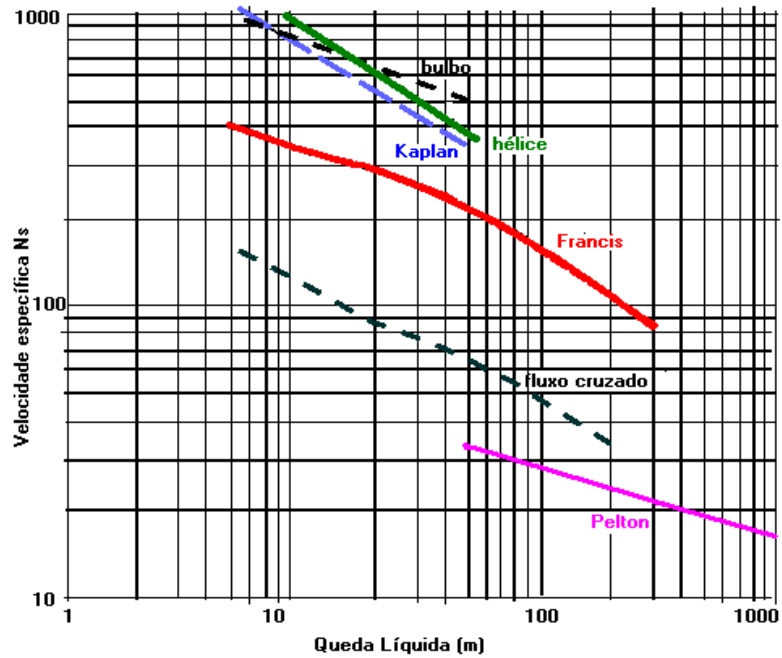


Figura 45- Seleção do tipo de turbina conforme a rotação específica

O diâmetro da turbina também influi na escolha da unidade. O ábaco da figura 46 permite estimar o diâmetro do rotor conforme a queda líquida, a rotação específica $ns(cv)$ e a vazão em litros/s. Notar que as retas precisam se cruzar em ângulos retos.

A utilização do ábaco é interessante na medida de uma forma geral, rotores com diâmetros menores tendem a ser mais baratos. Rotores menores também tendem a diminuir os custos civis associados e de montagem.

O rendimento da turbina também é variável conforme o tipo de máquina, conforme tabela 20:

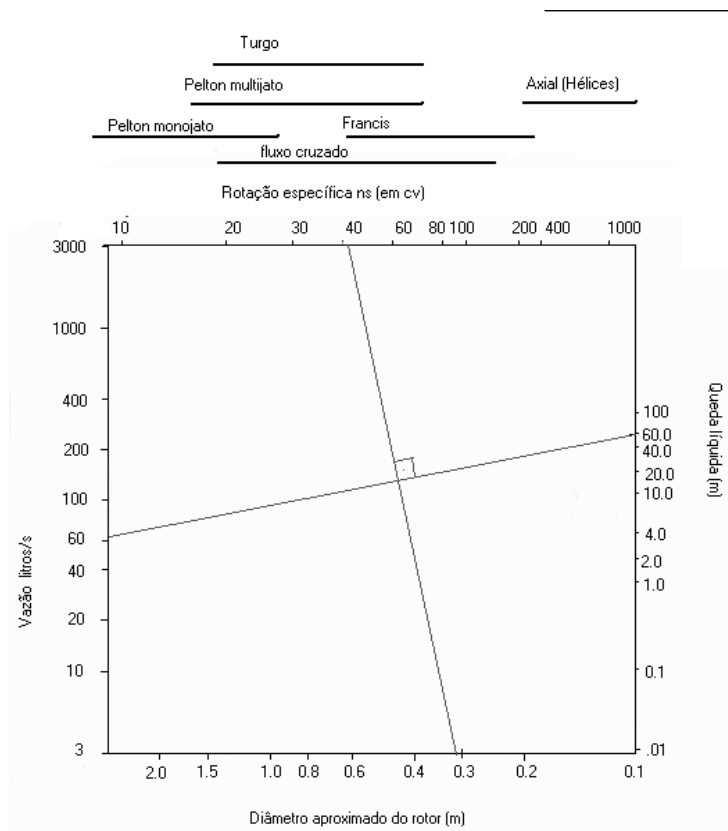


Figura 46- Ábaco para determinação do diâmetro do rotor.

Tabela 20- Rendimentos típicos de turbinas conforme tipo e porte				
Pelton e Turgo				
	n_{tu}	n_h	n_v	n_m
Pequenas	0,80	-----	0,824	0,97
Médias	0,85	-----	0,87	0,98
Grandes	0,92	-----	0,93	0,99
Francis e Kaplan				
	n_{tu}	n_h	n_v	n_m
Pequenas	0,82	0,95	0,89	0,97
Médias	0,86	0,97	0,92	0,98
Grandes	0,94	0,99	0,96	0,99

É importante levar em conta também o rendimento da turbina em função da vazão. Em aproveitamentos a fio d'água, é normal que a vazão disponível para geração seja inferior à vazão da turbina durante alguns períodos. A figura 47 apresenta a faixa de rendimentos típica para pequenas máquinas, em função da vazão, mantida a queda líquida constante.

Notar que as máquinas de impulso (Pelton, Turgo e Fluxo cruzado, ou Banki) mantêm um rendimento elevado mesmo quando as vazões são muito inferiores às nominais. Somente são superadas em rendimento pelas máquinas de hélice de pás móveis, cujo preço normalmente é elevado em função da maior sofisticação mecânica.

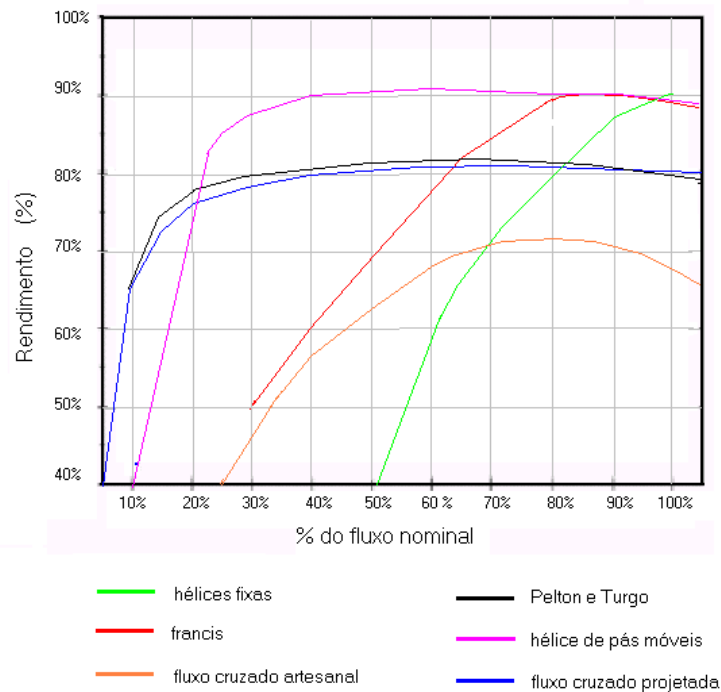


Figura 47- Faixa de rendimentos típica para diversos tipos de turbinas

14.5 Bombas funcionando como turbinas (BFT's)

Bombas centrífugas operando como turbinas podem se constituir em alternativas interessantes para micro centrais com potência até 500 kW. Um menor rendimento final e algumas dificuldades de operação geralmente são amplamente compensadas pelo menor custo inicial, pois as bombas centrífugas possuem fabricação seriada.

Acima dessa potência as bombas centrífugas são construídas mediante encomenda, e a vantagem do menor custo inicial desaparece.

O uso de BFT's tem algumas limitações:

- ✓ A operação eficiente de uma bomba requer uma constância tanto nas condições de vazão quanto de queda, devido à falta de mecanismos de controle hidráulico na BFT, como as pás distribuidoras existentes nas turbinas, que controlam a entrada de água no interior do rotor.
- ✓ Quando acima da necessária, a vazão pode ser regulada por uma válvula de controle. Isso é frequentemente utilizado nos acionamentos diretos de equipamentos ou interligações à rede elétrica, onde a variação de velocidade não apresenta grandes problemas. Entretanto, esse método é não é muito bom pois a válvula reduz altura útil, dissipando energia.
- ✓ Variações de vazões podem ser acomodadas pela utilização de BFT's em paralelo, permitindo o funcionamento de cada uma conforme a variação da vazão. Entretanto, pode não haver vantagem no custo desse tipo de arranjo quando comparado a uma máquina convencional, dotada de distribuidor.

A ausência de sistema de controle de velocidade ou de parada de emergência pode também se constituir em um problema na ocorrência de rejeições acidentais de carga.

Recorrendo novamente ao exemplo da bicicleta, é como acontece quando a corrente quebra enquanto se pedala. Involuntariamente, a velocidade da pedalada dispara durante alguns segundos.

Nesses casos, a sobrevelocidade atingida pelas partes rodantes pode fazer o equipamento literalmente “explodir”. Além do equipamento inutilizado, podem ocorrer ferimentos sérios nas pessoas que estejam próximas.

Por isso, é importante consultar o fabricante sobre os limites do equipamento antes de optar por uma solução desse tipo, pois a sobrevelocidade provavelmente não foi considerada no projeto das bombas, pois é uma situação incomum.

A operação de uma BFT apresenta algumas características

- ✓ Operação mecânica suave e silenciosa.
- ✓ O pico de rendimento apresentado quando funcionando como turbina é o mesmo quando funcionando como bomba;
- ✓ A altura e vazão para o melhor ponto de rendimento quando trabalhando como turbina são mais altos do que trabalhando como bomba;
- ✓ O custo final de uma BFT pode ser até 1/3 de uma turbina equivalente.

A carga constante requerida por uma BFT em função da inexistência de controle de vazão pode ser obtida através de um controlador eletrônico de potência, que desvia automaticamente a energia porventura excedente no gerador para um banco de resistências que dissipa a energia sob forma de calor- o qual pode ser aproveitado para aquecimento ou para tarefas motrizes que possam ser realizadas de forma intermitente.

Assim, é como se a bicicleta do exemplo anterior fosse pedalada com 100% de força durante todo o tempo.

Muitas bombas centrífugas já vem com conversor de frequência eletrônico incorporado, o que é vantajoso, pois dispensa uma etapa delicada de projeto que é a escolha do equipamento eletrônico.

Para equipamentos muito pequenos, designados para apenas uma tarefa, é possível controlar o fluxo d’água manualmente.

14.6 Geradores

Os geradores podem pertencer a duas famílias: síncronos e assíncronos. Os geradores síncronos, ou alternadores, impõe a sua própria frequência (Hz) ao sistema. Por sua construção, são mais caros que os assíncronos. Os geradores assíncronos, ou de gaiola, também podem funcionar como motores e geralmente são construídos para tal.

Pode-se dizer que os geradores/motores assíncronos possuem “falta de personalidade”, pois a velocidade de rotação dos geradores assíncronos é controlada pela frequência da rede ao qual está conectado.

No caso de motores, isso é bastante conveniente, pois a rotação é mantida constante por causa da frequência da rede. No caso de um gerador assíncrono trabalhando em paralelo com a rede elétrica, existe alguma vantagem, pois o gerador “imita” a frequência da rede, girando na velocidade correta, sem frear ou disparar.

Quando o gerador assíncrono trabalha isoladamente, sem uma frequência de rede para obedecer, é preciso dotar o equipamento de um regulador de velocidade.

Geradores assíncronos, como por exemplo à maioria dos motores de bombas centrífugas, podem requerer uma corrente mínima aplicada no enrolamento para induzir a produção de energia elétrica, fazendo com que muitas vezes seja necessário um sistema de partida auxiliar, por baterias ou capacitores.

O preço dos geradores varia em função do tipo de serviço a ser realizado, da temperatura atingida pelo equipamento e da categoria do isolamento. A melhor política é consultar vários representantes e fabricantes para definir um modelo adequado.

14.7 Preços dos equipamentos

É difícil estabelecer uma previsão para o preço de equipamentos. Em particular, na medida que o tamanho dos equipamentos aumenta, maior é a variação possível no preço.

O preço depende também do material empregado, muitas vezes utiliza-se aço inoxidável, que é mais resistente ao desgaste e águas corrosivas.

Finalmente, como os fabricantes são poucos, os preços podem variar bastante se o mercado está mais ou menos aquecido e se os fabricantes tem mais ou menos encomendas.

Particularmente no caso dos “kits” compostos por turbina Banki (fluxo cruzado), gerador e regulador de velocidade, foi possível estabelecer uma relação entre a queda, a potência e o valor do dólar.

Produtos importados incorporam acréscimo de 47%, referentes às taxas de importação, tarifas portuárias e desembaraço.

A tabela 21 exhibe os preços de alguns equipamentos, em dólares americanos.

Tabela 21- Preços de equipamentos eletromecânicos (US\$)									
Fabricante	Tipo	Potência Kw A	Queda m B	Potência/Queda A/B	Valor Turbina	Valor Gerador	Valor Válvula	Valor Regulador	Valor total US\$
Nacional- A	Banki	0,4	3	0,13	incluso	incluso	incluso	não tem	1.438
Nacional- A	Banki	1,5	3	0,50	incluso	incluso	incluso	não tem	2.796
Nacional- A	Banki	9,4	3	3,13	INCLUSOS				10.230
Nacional- A	Banki	15	3	5,00					13.109
Nacional- A	Banki	2,2	5	0,44					2.900
Nacional- A	Banki	5,7	5	1,14					5.350
Nacional- A	Banki	12,3	5	2,46					7.761
Nacional- A	Banki	26,5	5	5,30					13.882
Nacional- A	Banki	2,2	10	0,22					2.482
Nacional- A	Banki	5,5	10	0,55					3.257
Nacional- A	Banki	32,8	10	3,28					11.138
Nacional- A	Banki	68	10	6,80					26.580
Nacional- A	Banki	2,6	20	0,13					2.251
Nacional- A	Banki	6,6	20	0,33					3.656
Nacional- A	Banki	11,8	20	0,59					3.788
Nacional- A	Banki	24,5	20	1,23					5.249
Nacional- A	Banki	111,6	20	5,58					23.843
Nacional- A	Banki	7,4	30	0,25					3.836
Nacional- A	Banki	18,1	30	0,60					4.343
Nacional- A	Banki	99,4	30	3,31					18.963
Nacional- B	FH	22	10	2,20	16.393	INCLUI VÁLVULA E REGULADOR			16.393
Nacional- B	FH	43	10	4,30	18.306				18.306
Nacional- B	FH	167	10	16,70	81.967				81.967
Nacional- B	FH	500	20	25,00	120.219				120.219
Nacional- B	FH	751	30	25,03	136.612				136.612
Nacional- B	FH	1250	50	25,00	153.005				153.005
Nacional- C	FH	480	22	21,82	311.475	131.147	35.519	68.306	546.447
Nacional- C	FHD	1480	22	67,27	431.693	153.005	84.669	84.669	754.036
Nacional- C	S mont	1488	22	67,64	322.405	142.076	65.573	103.825	633.879
Importada	Banki	624	22	28,36	completo inclusive painel; inclui taxas e transportes				558.600
Importada	Banki	453	22	20,59					411.600

A tabela 22 indica alguns fabricantes/representantes de equipamentos, que podem ser consultados quanto a características de operação e preços:

Tabela 22- Alguns fornecedores de equipamentos para MCH's e PCH's				
Alstom	Tudo	Foco em médio/grande porte	www.poweralstom.com.br	Av Nações Unidas, 4777 São Paulo-SP (11) 3024.4500
Voith	Tudo	Foco em médio/grande porte	www.voithsiemens.com.br	
ENERG	Tudo	Até médio a grande porte	energpower.com.br	Rua Des. Drummond. 41 Belo Horizonte- MG (31)3263.2000
RM	Kits Banki/Pelton	até 150 kW	microcentral.com.br	Rua Delfim Moreira 620 Varginha-MG (35) 3214-5473
Betta	Kits Banki/Pelton	até 372 CV	betta.com.br	Rua Alfredo Tose, 1600 Franca-SP (16) 3702.5552
Wirz	Pelton/Francis/Reguladores/Valvulas/Comportas	n.d	turbinaswirz.com.br	Rua Joaquim Nabuco 97 Estrela-RS (51) 712-1677
HISA	Pelton/Francis/Tubular/Kaplan/Reguladores/Valvulas/Comportas	até 14000 kW	hydro.hisa.com.br	R. Luis Specht 75 Joaçaba-SC
Hacker	Turbinas /Reguladores/Acessórios	n.d	hacker.ind.br	Cx postal 175 CEP 89820 Xanxerê - RS (049) 411 8000
TBM	Pelton/Francis/Kaplan/Acessórios	n.d	tbm.com.br	Anel Rodoviario BR 262 km 21 Belo Horizonte- MG (31) 3424.1400
EC2	Banki	micro	microenergia.com.br	Rua Apameia, 111 Realengo RJ cep 21730-330 (21) 3462.6238
Vorax	Acionamentos, Paineis, motores	0 a 20.000 hp	vorax.com.br	Rua Adelaide Zangrande, 144 - Área Industrial - Cep: 14680-000- Jardinópolis - SP - Brasil: (016) 3663-7700
WEG	Acionamentos, Paineis, motores	qualquer	weg.com.br	Av Waldemar Zangruba, 300 Jaragua do Sul- SC (47) 432.4000
Lynx	Conversores de frequencia	até 400 CV	lynxauto.com.br	R. Júlio Diniz, São Paulo SP - Brasil Fone: (11) 3849.2728
Hidrovector	bombas	Revenda	.hidrovector.com.br	Estrada do Cafundá, 564 - Rio de Janeiro - RJ Telefone: (21) 2423-4099 -
Flyght	bombas	fabricante	flyght.com.br	R Telmo Coelho Filho, 40 05543-020 Butantã- SP 3732-0150
Hidrosistemas	bombas	revenda	hidrosistemas.com	(11)3744.4467 (44) 262.1412 (51) 476.4946
Irritecnica	bombas	fabricante	irritecnica.com.br	Av Ernesto Neugebauer, 90 Cep: 90250-140 Porto Alegre - RS - Brasil (51) 3374 3199
KSB	bombas	fabricante	ksb.com.br	(11) 4596.8500 Atendimento ao cliente

Vale mencionar também a existência de um programa no “site” da Alstom Power, tradicional fabricante de equipamentos. O Mini Aqua (www.power.alstom.com/configurator) é um programa (em inglês) muito simples de operar. Com base em dados de queda e vazão, o sistema propõe uma solução de turbina e gerador, e ainda mostra o desenho. O Mini Aqua não cobre todas as faixas de quedas e potências para microcentrais.

14.8 Operação do programa

A seleção da turbina e do gerador está na pasta 11 do programa. É importante dizer que o programa pode apenas fornecer algumas sugestões a respeito da escolha da turbina e gerador, pois o número de opções é muito grande. O programa também não simula a operação de bombas como turbinas, que devem ser buscadas em catálogos.

O programa fornece uma estimativa de preço em dólar para equipamentos de pequeno porte do tipo Banki (ou fluxo cruzado). Para outros equipamentos, é preciso consultar fornecedores. Como em qualquer tipo de negócio, é preciso pesquisar bastante, inclusive quanto à qualidade e garantia de rendimento.

Para referência de preços, o programa pch-eqpt. da ELETROBRAS (colocado como uma pasta adicional ao final do programa, ou disponível no “site” www.eletrobras.gov.br) fornece a estimativa de preços para equipamentos, mas somente deve ser usado para equipamentos de médio a grande porte, maiores que 1000 kW, com cautela.

As células B3 e B16 refletem as principais características das máquinas. O rendimento preliminar da turbina deve ser adotado como 0,8, preliminarmente. A potência da máquina é calculada na célula B4. Na célula B5, deve se inserir a rotação do gerador. A maioria dos geradores padronizados possui rotação de 1800 rpm, pois são feitos para serem acoplados a motores

Diesel. Caso já se tenha um motor que se pretenda utilizar como gerador, verificar a rotação na placa que normalmente vem rebitada na carcaça.

O fator do multiplicador (célula B6) corresponde à relação mecânica entre rotação do gerador e da turbina, isto é, quantas vezes o gerador vai rodar mais rápido que a turbina.

As células B7 a B10 mostram os valores calculados para a rotação da turbina (rpm), engolimento (m^3/s), queda líquida (m) e rotação específica.

Na célula B12, é preciso inserir o valor do fator de potência do gerador (FP). Esse valor é fornecido pelo fabricante, e normalmente vem escrito na “placa” dos motores elétricos em geral. Na maioria das vezes, o FP é 0,8. A partir do fator de potência, a potência mínima do gerador é calculada na célula B12, e esse valor deve ser utilizado como referência na compra.

O rendimento do gerador (célula B13) também é fornecido pelo fabricante. Na falta desse dado, utilizar 0,9. O rendimento do multiplicador (célula B14) conforme o tipo (correias, corrente ou engrenagem) é obtido na tabela existente na planilha.

O rendimento final geral é calculado com base nas informações anteriores, e utilizado no cálculo da energia gerada (pasta 4). A potência final da usina é calculada na célula B16.

A seleção da turbina é feita entre as linhas 18 e 23. Na linha 20 é feita a verificação se a turbina é adequada segundo o critério da ns (rotação específica). Na linha 21 é feita a verificação da máquina segundo a velocidade de rotação calculada na célula B7. Isso acontece porque existem limites para a rotação de uma turbina, que variam de tipo para tipo. Por exemplo, não é possível uma turbina de qualquer tipo girar a 10 rpm ou a 10.000 rpm. Caso as condições de velocidade específica e de rotação forem atendidas, a máquina será viável. (linha 22). O rendimento provável da máquina escolhida será dado na linha 23.

De qualquer modo, sempre é conveniente consultar mais de um fabricante, pois as soluções podem ser mais amplas que as apresentadas. Em

caso de dúvida, as turbinas Banki tendem a apresentar melhores resultados econômicos em longo prazo, especialmente quando a água não for suficiente para fornecer potência total para a máquina durante uma parte do tempo. Nas linhas 28 a 30, é estimado o valor para um kit de turbina Banki, gerador e regulador de velocidade. **Na célula C29, é preciso inserir a cotação do dólar.**

Entre as linhas 38 a 49 é feito o orçamento para os equipamentos eletromecânicos. Na coluna “D”, é feita uma estimativa do valor para os equipamentos, incluindo válvula, comportas, ponte rolante ou talha, painel elétrico e montagem. Essa estimativa foi feita com base em um estudo de 1993, e pode acarretar diferenças. Caso o seu equipamento seja muito pequeno, é possível retirar o preço correspondente à talha ou ponte rolante.

O valor do painel e da montagem são estimativas superficiais, pois podem existir grandes variações de valor, dependendo da potência e do grau de sofisticação que se necessite. Por isso, é conveniente conversar com o fabricante ou buscar auxílio junto a um profissional especializado.

15 CASA DE FORÇA

A casa de força deve atender a alguns requisitos mínimos:

- ✓ Abrigar os equipamentos, com espaço suficiente para montagem e manobras;
- ✓ Deve ter uma boa cobertura, pois os equipamentos eletromecânicos, gerador, painéis etc não devem molhar;
- ✓ Deve estar livre de enchentes que podem danificar os equipamentos;
- ✓ Deve ser ventilada, pois o gerador funcionando libera calor;
- ✓ Deve ter claridade natural, para facilitar a manutenção e controle;
- ✓ Caso seja prevista a permanência de algum zelador ou operador, deve haver sanitário e um compartimento isolado do ruído;
- ✓ As paredes e piso devem ser tais que facilitem a retirada de poeira, que é prejudicial aos equipamentos.

- ✓ O piso deve ser resistente ao peso dos equipamentos e graxa.
- ✓ As fundações devem ser firmes, preferencialmente em rocha;
- ✓ Deve haver um espaço para oficina e depósito, preferencialmente em um edifício ao lado. Lubrificantes, solventes, tintas e outros inflamáveis não devem ficar próximos da eletricidade, por princípio.

15.1 Dimensões da casa de força.

Com a finalidade de fornecer uma primeira aproximação sobre o tamanho dos equipamentos e permitir traçar os primeiros planos da casa de força, a pasta 12 auxilia na realização de alguns cálculos.

Os cálculos passam em um primeiro momento pelo cálculo do diâmetro da turbina e pelo cálculo do diâmetro do gerador. A partir daí, é possível realizar uma primeira avaliação das dimensões da casa de força. Essas dimensões podem variar bastante, pois há outros fatores em jogo. Procurou-se, então, fornecer as dimensões para uma casa de força ampla, com bastante espaço para organizar as peças durante as manutenções e para acomodar os painéis e sistemas auxiliares sem apertos.

Mais do que a área construída, uma grande parcela do custo da casa de força está atrelado ao volume de escavações, seja para a casa de força propriamente dita, seja para o canal de fuga, e também ao volume de concreto ou pedra argamassada necessário para “chumbar” os equipamentos nas suas posições. Felizmente, nas usinas pequenas, o valor gasto com a casa de força geralmente não é muito significativo comparado com o restante da usina.

A pasta 12 é grande, prolonga-se até a linha 100 e possui algumas ilustrações com detalhes que podem ser vistos ajustando-se o comando “zoom” no menu “exibir”.

Entre as linhas 6 e 7 é dada uma indicação do tamanho e do peso do gerador. Para isso, foram considerados geradores de 1800 rpm, para montagem horizontal, achados facilmente no comércio. Esse tipo de gerador e suas variações provavelmente irão atender à maioria das microcentrais.

Entre as linhas 10 e 25 estão os cálculos referentes á uma turbina Francis horizontal. O desenho da turbina e os símbolos que caracterizam suas dimensões estão na pasta, ao lado. Em primeiro lugar, é preciso confirmar junto ao programa se a máquina escolhida é Francis, conforme a indicação dada na pasta 11, linha 22. O programa calcula automaticamente as dimensões do rotor, ou seja, da turbina propriamente dita, e avalia o comprimento e a largura do prédio (células C21 a C23), com as ressalvas já expostas.

É importante notar a dimensão Hs-T7. E o número que define o quanto a turbina vai ficar acima do nível d'água. Foi adotado no programa o valor padrão de 1,5 metros para todas as condições, porém o fabricante da turbina deverá ter a última palavra.

A altura da turbina em relação ao nível d'água é importante porque requer o equilíbrio entre várias condições:

- ✓ Se a turbina fica muito alta em relação ao nível d'água, perde-se queda e potência;
- ✓ Se a turbina fica muito alta em relação ao nível d'água, a sucção do tubo de descarga (ou de sucção) que fica mergulhado no canal de fuga causa uma fenômeno chamado cavitação. Cavitação é a formação de bolhas de vapor dentro da turbina quando ela está funcionando. Essas bolhas são capazes de “comer” o metal com muita rapidez.
- ✓ Se a turbina fica muito baixa, se gasta mais dinheiro na escavação da casa de força. Além disso, a casa de força baixa é mais facilmente inundada durante as cheias do rio. Mais graves que a sujeira em uma casa de força alagada, são os danos aos equipamentos elétricos e ao gerador. A turbina propriamente dita geralmente não é afetada nesses casos.
- ✓ Para contornar esses problemas, sempre que possível deve se colocar o gerador e os painéis elétricos o mais alto possível, isso é mais fácil se existe transmissão por polias.

- ✓ Caso não seja possível conciliar a altura da turbina com a vazante do rio, a solução é fazer uma soleira no canal de descarga, para que seja sempre mantido um nível mínimo.

Entre as linhas 29 e 49 estão definidas as dimensões de uma máquina Kaplan horizontal, também conhecida como tubular “S”. Novamente o desenho é apresentado na planilha. Os problemas e as soluções para ajuste de altura da máquina tubular são semelhantes ao da máquina Francis.

Entre as linhas 52 e 59 estão definidas as dimensões de uma máquina Kaplan vertical. Novamente o desenho é apresentado na planilha. Os problemas e as soluções para ajuste de altura da máquina Kaplan vertical são semelhantes ao da máquina Francis, com a vantagem que o gerador fica em uma posição mais alta que a turbina.

Existem inúmeras variações intermediárias entre as máquinas tubulares e as Kaplan verticais, algumas delas mostradas na figura 48.

Entre as linhas 67 e 75 é feito o pré-dimensionamento para uma turbina Pelton de 1 jato. O posicionamento da turbina Pelton em relação ao nível d’água do canal de descarga é menos problemático que nas turbinas Kaplan e Francis, pois não ocorre cavitação. Uma turbina posicionada muito alto somente irá acarretar perdas energéticas.

Entre as linhas 77 e 85, é feito o pré-dimensionamento da turbina Banki ou de fluxo cruzado. Como na turbina Pelton, o posicionamento em relação ao nível d’água do canal de descarga é menos problemático que nas turbinas Kaplan e Francis.

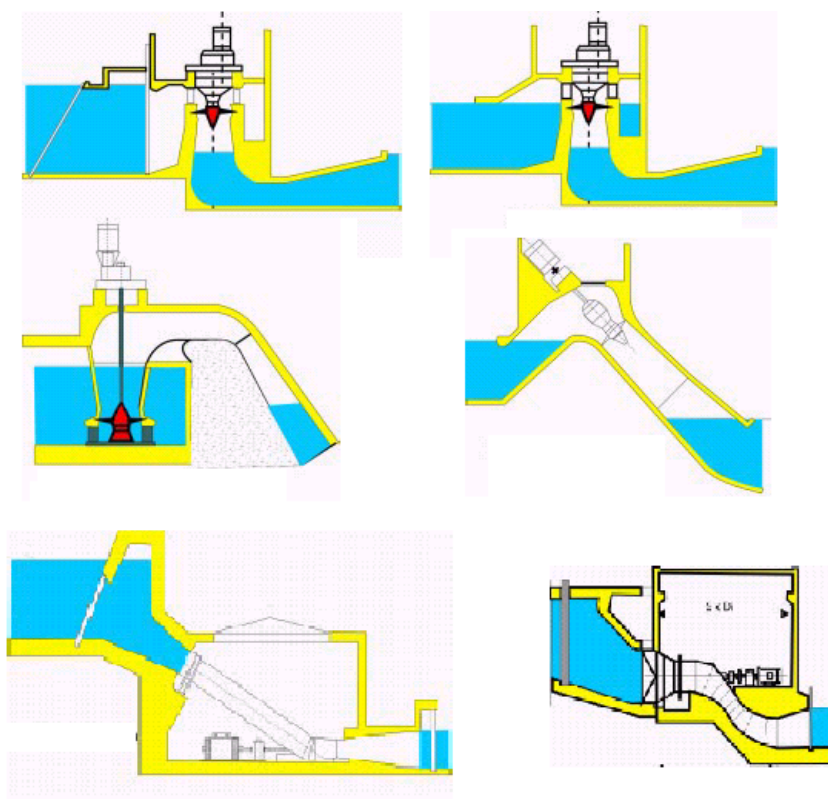


Figura 48- Algumas variações de montagem de turbinas Kaplan

15.2 Obras civis da casa de força

O programa fornece a estimativa das obras civis da casa de força na pasta 13, junto com a estimativa de obras do canal de fuga ou de descarga.

Antes de iniciar, recomenda-se ler o capítulo 5.7 do Manual de Microcentrais Hidroelétricas da ELETROBRAS, que corresponde à casa de força e canal de fuga.

De uma forma geral, as quantidades aqui estimadas são maiores do que aquelas que serão definidas no projeto. Por outro lado, existem coisas que não é possível prever no modelo, como dificuldades na execução da casa de força, por exemplo, quando o terreno é em solo ou rocha mole. Essa condição dificulta a

instalação da casa de força, e deve ser evitada. Caso seja inevitável, deve-se consultar um engenheiro.

A casa de força pode ser dividida em superestrutura e subestrutura. A superestrutura assemelha-se a um galpão normal, enquanto a subestrutura normalmente fica abaixo do terreno e abrange as fundações das máquinas e as estruturas que permitem a saída da água até o canal de descarga.

Na pasta 13, é preciso transcrever a largura e o comprimento da casa de força calculado na pasta 12, conforme o tipo de turbina escolhido.

Na célula B10, é preciso inserir o nível do terreno acima da máxima cheia do rio, conforme figura 49.

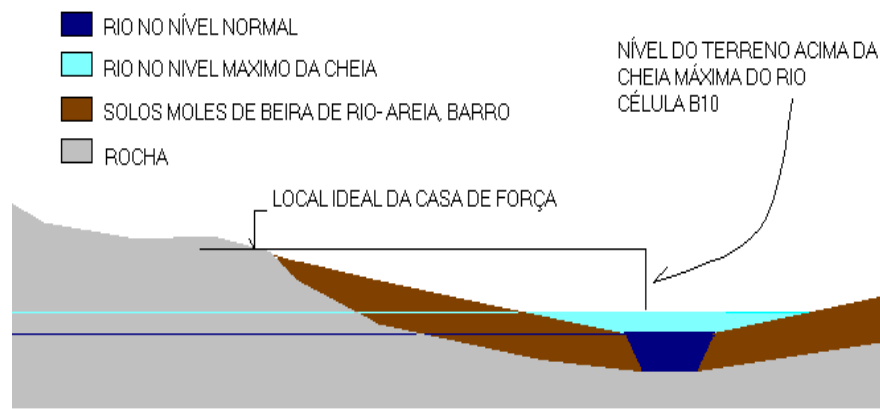


Figura 49- Posição da casa de força em relação ao rio

Nas linhas 11 a 13, é estimado o volume de concreto para a base do gerador e da turbina, para cada tipo de turbina. É importante que o bloco seja bem reforçado, para evitar que as máquinas saiam do lugar durante a operação. Na linha 14, deve-se anotar o volume de concreto de acordo com o tipo da turbina escolhida.

Entre as linhas 15 e 17 são avaliadas as quantidades de formas, ferragens e escavação para a casa de força, conforme o nível do terreno inserido na célula B10. Quanto maior o nível do terreno, maior será o volume de escavação.

Na célula B18 é preciso avaliar a porcentagem de rocha que haverá na escavação da casa de força. Apesar da escavação em rocha ser mais cara, quanto mais rocha houver, melhor, pois maiores serão as chances de barateamento da casa de força durante o projeto.

As células B19 e B20 retornam as quantidades previstas de solo e rocha a escavar na casa de força. Todas as quantidades avaliadas serão utilizadas para compor o orçamento da usina, adiante. Notar que a rocha que sobrar da escavação pode ser utilizada para fazer estruturas em alvenaria de pedra ou mesmo proteger o leito do rio contra erosão, na região do canal de fuga.

A partir da linha 23 é feita a avaliação das quantidades necessárias para se construir o canal de fuga. Nas células B25 e B26 é preciso escrever a largura e profundidade do canal de fuga conforme foi calculado para o tipo de máquina escolhida, na pasta 12.

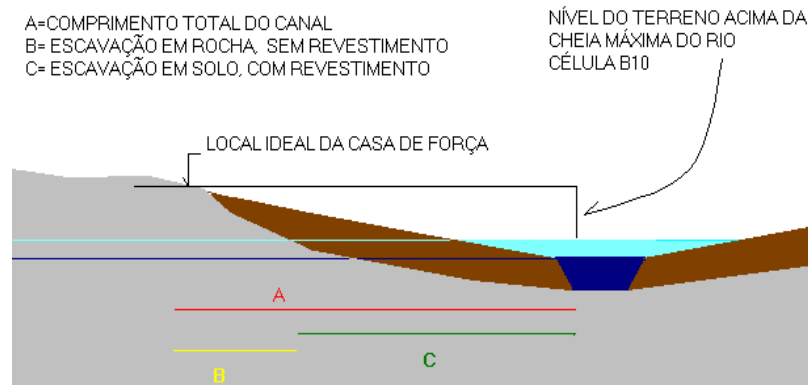


Figura 50- Exemplo de posição de canal de fuga

Na célula B27 é preciso colocar o comprimento total do canal, e na B28 o trecho onde o revestimento pode ser eliminado, caso a escavação seja feita em

rocha dura como paralelepípedo ou concreto. A diferenciação em trecho com e sem revestimento é exemplificada na figura 50.

A área a ser revestida é calculada na célula B28. Quanto mais fundo o canal, maior a área a revestir. A partir da espessura indicada para revestimento do canal em concreto, que deve ser colocada na célula B31, o programa calcula os volumes de concreto, formas e ferragens de reforço necessários para o revestimento.

A partir da linha 36, o programa ajuda a calcular o volume de escavação necessário para o canal de fuga. Da mesma forma que no cálculo do canal de adução, o programa calcula a área mínima, correspondente à seção do canal, enquanto o que se chama aqui de “área adicional” e a distância entre as seções é colocada nas células amarelas.

A porcentagem de rocha avaliada em cada seção deve ser colocada na coluna “G”. O programa calcula os totais previstos de rocha e solo nas células R61 e S61, respectivamente.

Entre as linhas 63 e 78 o programa resume todas as quantidades calculadas na coluna “B”. Na coluna “C”, é deixada a possibilidade de alterar os valores estimados, conforme o projeto venha a ser detalhado. A coluna “C”, com as células verdes, escolhe o valor mais preciso, para usar no resto do programa.

16 VERTEDOURO

Antes de iniciar, sugere-se ler o capítulo 5.2.5- Vertedouro do Manual de Microcentrais Hidroelétricas da ELETROBRAS.

Em uma barragem de concreto a gravidade ou Ambursen bem construída, o vertedouro pode ter importância secundária, pois nas cheias muito fortes a água pode passar por cima desses tipos de barragem sem causar muitos problemas, bastando apenas que o construtor tome alguns cuidados:

- ✓ O vertedouro da barragem normalmente deve ficar em uma posição onde exista mais rocha dura para suportar o impacto contínuo da água, durante muitos anos. Se não houver nenhuma rocha próxima, talvez a barragem de concreto não seja a melhor opção para o local.
- ✓ Caso haja dúvida em relação à durabilidade do material, pode ser feito um “forro” de pedras argamassadas no local onde a descarga é contínua, ou mesmo uma pequena barragem mais à jusante, para fazer a água vertida cair em um “colchão d’água” e não erodir a rocha a jusante.

Para prevenir problemas durante as grandes cheias, nas quais a água sai da calha do vertedouro, é preciso proteger as encostas laterais da barragem com panos de pedra ou concreto (figura 51):

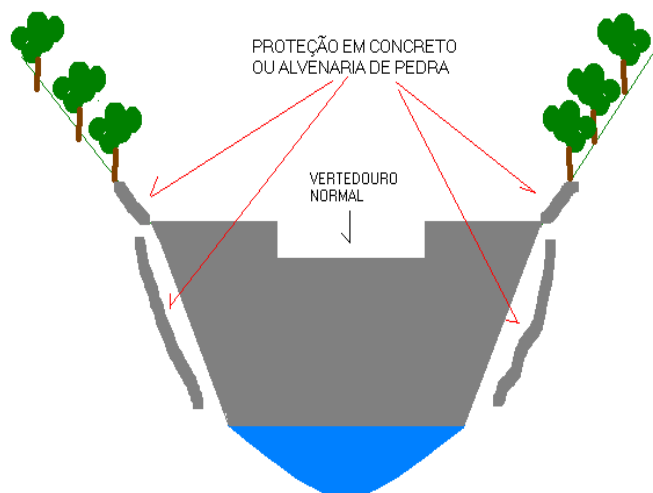


Figura 51- Exemplo de proteção da encostas laterais da barragem

Quando se trata de barragem de terra, porém, o vertedouro assume uma importância enorme. Ele precisa ser capaz de fazer toda a água de cheia escoar sem passar por cima da crista da barragem, pois a barragem pode ser literalmente “dissolvida”. O galgamento, ou passagem de água sobre a crista, é a

principal causa de rupturas de barragens de terra no mundo. A figura 52 mostra um exemplo de uma barragem rompida.

A grande dificuldade em relação aos vertedouros é prever qual a maior vazão que deverá passar por ele algum dia. Quando se trata de grandes rios e grandes barragens, existem dados que podem ser usados pelos técnicos para dimensionar o vertedouro. Mesmo assim, sempre existe uma faixa de incerteza. O caso da barragem provisória (ensecadeira) da Usina de Tucuruí ficou famoso. A ensecadeira foi dimensionada para suportar uma cheia muito grande, mas durante a construção ocorreu uma vazão muito maior que a prevista.



Figura 52- Exemplo de ruptura de barragem de terra

Apesar de todas essas dificuldades que envolvem os vertedouros, o programa fornece um dimensionamento inicial baseado na observação das cheias do rio. **Esse dimensionamento somente pode ser utilizado para efeito de orçamento preliminar. Antes de começar a obra, é preciso um projeto feito por um profissional.**

O vertedouro **nunca** deve ficar no meio da barragem, sempre na lateral (ombreira), onde o terreno seja firme, mais duro que tijolo, no mínimo duro feito bloco de construção em cerâmica ou telha. Para isso é provável que seja necessário escavar bastante, mas o material deve ser usado para construir a barragem. (figura 53).

O programa auxilia a estimativa de quantidades civis do vertedouro na pasta 14. Na célula D4 é preciso inserir o comprimento do canal em metros, nas células D5 e D6 a profundidade (desde o fundo do rio) e a largura que o rio ficou na maior cheia observada nos últimos anos, no local da barragem. Se você não conhece bem a região, sugere-se conversar com pessoas antigas do local, pois essas cheias ficam muito marcadas na memória das pessoas.

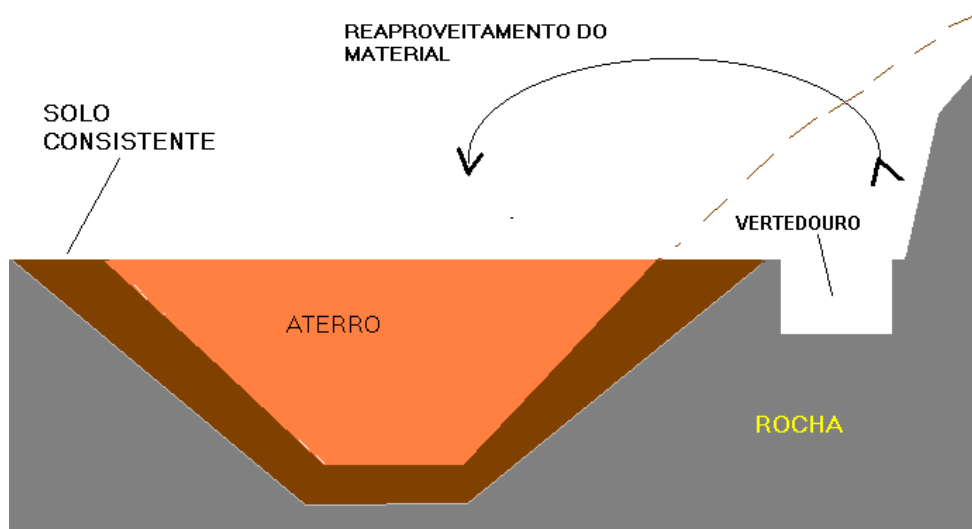


Figura 53- Sugestão para localização de vertedouro em barragem de terra

Na célula D7 pede-se para colocar o que se chama aqui de “fator de cheia”. É o número pelo qual a área do rio na maior cheia registrada deve ser multiplicado para que se encontre a área da “boca” do vertedouro.

Poe exemplo, se houver sorte e alguém se lembrar que a maior cheia ocorreu há quatro ou cinco dezenas de anos, e o “ponto” que ela atingiu puder

ser identificado com segurança, vai ser possível colocar um “fator de cheia” na célula D7 de 1,5. Nesse caso, o vertedouro pode a princípio suportar uma cheia com vazão 1,5 vezes maior que a registrada.

Por outro lado, à medida que não houver registros antigos da maior cheia, o “fator de cheia” necessariamente vai ficando cada vez maior.

Em último caso, pode-se observar a margem do rio, o tamanho da “barranca” ou do trecho sem vegetação ou com vegetação sujeita à inundação todos os anos. Nesse caso, o fator de cheia pode ser 5.

Com base nos dados da cheia, o programa faz o seguinte:

- ✓ Busca, na pasta 6- Barragem, o valor da borda livre, isso é, a “folga” que a barragem possui de altura sobre o nível d’água.
- ✓ Determina a altura da lâmina d’água no vertedor , igual ao valor da borda livre menos 0,5 metro (célula D8).

Entre as linhas 13 e 20 são calculadas as quantidades necessárias para a construção do vertedouro. Da mesma forma que no capítulo “casa de força e canal de fuga”, é preciso determinar o comprimento do vertedouro que será revestido com concreto ou pedras. Se a quantidade de pedras proveniente da escavação for limitada, utilizá-la para forrar o local do encontro do canal com o rio, se o material do leito do rio não for rochoso.

O programa considera que toda a seção do vertedouro precisará ser revestida, porem em caso intermediários, nos quais o material não é 100% duro como paralelepípedo mas também não é solo que vai ser “lavado” na primeira cheia, digamos, como tijolo de barro maciço, pode-se revestir somente até um certo tempo. No dia em que ocorrer uma cheia muito forte que ultrapasse a borda do revestimento -e essas cheias duram apenas algumas horas- o material com consistência de tijolo vai ser afetado, mas não o suficiente para derrubar a barragem (figura 54).

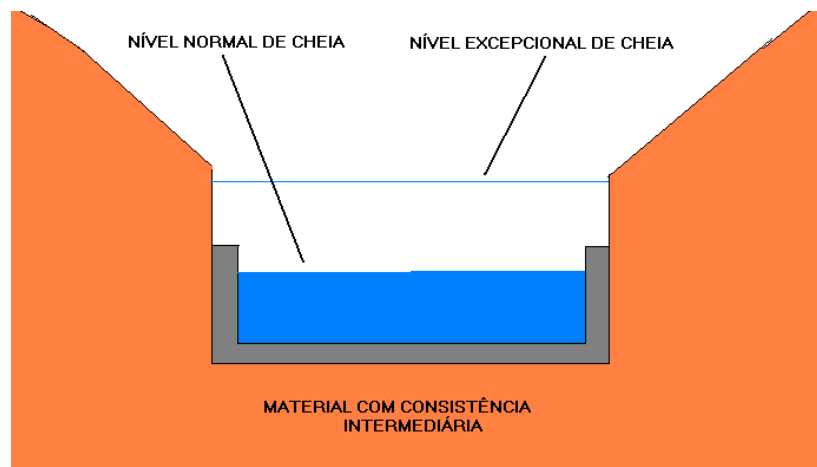


Figura 54- Exemplo de canal revestido parcialmente

Entre as linhas 53 e 48, está o ajudante de cálculo de volumes de escavação, cujo preenchimento obedece ao mesmo princípio aplicado aos canais de descarga e de adução.

Entre as linhas 52 e 57, é feito o resumo das quantidades correspondentes ao vertedouro. Na coluna “F” é possível alterar as quantidades aqui previstas, e o valor adotado está nas células verdes, na coluna “G”.

17 LINHA DE TRANSMISSÃO

Infelizmente, nem sempre a casa de força está próxima ao local de consumo da energia. A linha de transmissão, se for longa, pode inviabilizar um aproveitamento hidroelétrico de pequeno porte. Se é uma fazenda ou indústria nova, a melhor alternativa é aproximar ao máximo os pontos de produção e consumo da energia, ou seja, consumir a energia ao lado da casa de força.

Para usinas muito pequenas, de poucos kW, é possível fazer linhas de transmissão mais simples, monofásicas, onde o único condutor é um arame de aço de cerca. Embora seja em muitos casos a única solução possível que “cabe

no bolso”, geralmente a qualidade da energia fornecida é baixa, sujeita a variações de tensão grandes e “apagões”.

Para linhas de transmissão com mais de 200 metros de comprimento e potência acima de 20 kVA já se torna vantajoso trabalhar em média tensão (13,8 kV), colocando um transformador na saída do gerador para levantar a tensão e outro no fim da linha, para abaixar a tensão. Podem surgir outras variantes, como pontos de consumo no meio da linha de transmissão, que não podem ser previstas no programa.

O programa (pasta 15) ajuda a fazer o orçamento de linhas de transmissão trifásicas, em 13,8 kV, com potência compreendida entre 20 e 500 kVA e até 3 ou 4 km de comprimento, com postes em madeira tratada e espaçamento entre postes de na média 40 metros.

Nessa faixa de potência, o custo por km da linha em si varia muito pouco. O que muda conforme a potência é o preço dos transformadores e dos “postes” no qual será instalado, com os respectivos acessórios como para raios, aterramento, chaves, estaiamento, etc.

O programa pede na célula B4 o comprimento da linha de transmissão em metros. Na célula B5, é calculado o preço de cada “poste” completo com transformador, conforme a potência da usina, calculada anteriormente.

Nas células B7 e B8, é fornecido o valor da linha de transmissão por metro, em Dólares/metro e Reais/metro. O programa “puxa” o valor do Dólar da pasta 11, célula C29, se essa célula estiver vazia não haverá resultado.

Entre as linhas 10 e 12 é feito o resumo da linha de transmissão, com a estimativa de preços na coluna “C”, espaço para o valor orçado no detalhamento na coluna “D” e o valor adotado nas células verdes da coluna “E”.

18 ORÇAMENTO

O orçamento para construção da Usina é feito nas pastas 16 e 17 do programa.

As quantidades calculadas nas pastas anteriores estão reproduzidas nessa pasta, conforme os itens principais:

- ✓ Reservatório;
- ✓ Barragem de terra;
- ✓ Barragem de concreto a gravidade;
- ✓ Barragem Ambursen;
- ✓ Tomada d'água;
- ✓ Canal de adução;
- ✓ Tubulação de baixa pressão;
- ✓ Câmara de carga da tubulação forçada;
- ✓ Tubulação forçada ou de alta pressão;
- ✓ Equipamentos eletromecânicos;
- ✓ Casa de força e canal de fuga;
- ✓ Vertedouro;
- ✓ Linha de transmissão e transformadores;

18.1 Definições e dicas

Para se iniciar a montagem do orçamento da usina, é preciso estabelecer alguns conceitos:

- ✓ Custo: normalmente chama-se custo o valor mínimo para produzir alguma coisa, com impostos mas sem incluir o lucro.
- ✓ Preço: o preço é o custo mais o BDI. É o que normalmente se paga por um bem ou serviço.
- ✓ BDI: Ou Benefícios e Despesas Indiretas, é uma porcentagem que é aplicada sobre o custo para definir o preço. O BDI inclui despesas indiretas que não estão explicitamente indicadas na planilha do contrato,

como refeições, transporte para funcionários, alojamento, escritório da obra, impostos, custos financeiros, escritório central do empreiteiro, dificuldades para fazer a obra e naturalmente o lucro. O valor do BDI pode variar dentro de limites bem amplos, dependendo do detalhamento do orçamento da obra- quanto mais detalhado o projeto e o orçamento, menor será o BDI- e da natureza dos serviços. Serviços com maiores chances de enfrentarem problemas embutem um BDI mais alto que serviços simples, como por exemplo, construir um pequeno galpão. Para efeito de orçamento, sugere-se os valores de BDI constantes da tabela 23.

	serviços contratados	administração do proprietário
Serviços que envolvam escavação, obras em difícil acesso	30 a 40%	20%
Serviços de edificações, concreto, alvenaria	30%	10 a 20%
Equipamentos e montagem	0%	0%

- ✓ Leis sociais (LS): Para se executar um determinado serviço, existe um cálculo das despesas sobre a mão de obra, que além dos encargos normais- INSS, férias, FGTS, décimo terceiro salário – inclui a previsão de gastos para cobrir afastamentos, demissões, licença maternidade e outros. No primeiro semestre de 2004, o valor mais comum para L.S. é de 103,65%.
- ✓ Preço ou custo unitário é aquele que se paga por uma unidade daquilo que se está construindo. Por exemplo, ferragem de construção se paga por kg, concreto por metro cúbico, e assim por diante.

Um problema é que existe confusão envolvendo esses nomes. Desse modo, ao se obter uma lista de custos ou preços de referência, é preciso verificar se os valores incluem leis sociais e BDI.

Outro ponto a ser observado com atenção é o que está e o que não está incluído em um serviço. Por exemplo, o item “fornecimento de concreto” em

uma lista de preços pode ou não abranger a colocação do concreto dentro das formas, ou os escoramentos de lajes e vigas.

18.2 Onde obter listas de custos e preços

A ELETROBRAS disponibiliza na internet a mais completa melhor ferramenta para orçamento de obras de hidroelétricas, no “site” http://www.eletrobras.gov.br/EM_Atuacao_SISORH/sisorh.asp. Para utilizar, é preciso “baixar” o programa chamado SISHORH e a respectiva lista de **custos**, que é atualizada periodicamente. Todavia, o programa é difícil de ser utilizado, apresenta muitas nuances e é direcionado principalmente para grandes obras, onde normalmente os preços unitários são mais baixos. Recomenda-se utilizar esses preços somente na fase de detalhamento do projeto.

Uma alternativa é a utilização da lista de **preços** do DER- Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo no “site” <http://www.der.sp.gov.br/informativos/>. O “caderno de insumos” explica o que está incluído nos preços, e o “caderno de preços” fornece os **preços finais, já incluído o BDI de aproximadamente 30%**. Então, se essa lista for utilizada, será preciso colocar a taxa de BDI zero, adiante. Essa lista possui duas vantagens, a de ser mais compatível com o orçamento simplificado feito pelo programa e a de seus preços estarem adequados a obras de porte pequeno a médio porte como aquela que está se idealizando.

Existem outros órgãos públicos que divulgam listas de preços ou custos, vale a pena pesquisar pois os preços podem variar de região para região.

18.3 Operando o programa

O auxiliar do orçamento à pasta 16 requer apenas que:

- ✓ Os **custos** sejam colocados na coluna “D”. No programa é fornecida uma estimativa de custos para o primeiro semestre de 2004.
- ✓ Na coluna “E” é possível colocar custos mais detalhados, obtidos após consulta ao mercado ou definição mais confiável.

- ✓ Na coluna “F” o preço mais confiável é escolhido pelo programa.
- ✓ Na coluna “G” o programa multiplica a quantidade prevista pelo preço da coluna “F”.

Existem alguns preços que já estão “prontos”, como por exemplo os equipamentos eletromecânicos e linha de transmissão. Para os equipamentos constituídos de chapas dobradas e soldadas, como a adutora em aço, comportas e grades, foi adotado o valor de US\$ 4,00/kg para o material e US\$ 3,00/kg para a montagem, que inclui cortes, soldas, posicionamento e ajuste final. O valor total (US\$ 7,00/kg) é uma média tradicionalmente adotada para esse tipo de serviço, que pode variar entre US\$ 6,00 e US\$ 8,00 dependendo da complexidade, local, etc.

O programa não pode prever as distâncias de transporte caso a caso. Por isso, onde o transporte é exigido, é preciso colocar a quantidade de $m^3 \times km$ envolvida. Por exemplo, se a distância de transporte for de 4 km e o volume a transportar for de $100 m^3$, na célula roxa correspondente será preciso inserir:

$$4 \times 100 = 400 (m^3 \times km)$$

O programa deixa espaço para que outros itens não previstos pelo programa sejam inseridos, conforme as condições locais, como por exemplo, contenções de taludes, escavações adicionais, obras de drenagem, acessos, transporte de materiais para locais de difícil acesso, etc. Nesses casos, é preciso utilizar principalmente o bom senso.

Na pasta 17 é feito o resumo do orçamento, colocada a taxa do BDI e o valor do detalhamento do projeto que precisará ser feito caso se decida prosseguir.

Notar que os equipamentos eletromecânicos e linha de transmissão já vêm com o BDI igual a zero.

Nessa fase, é preciso tomar cuidado para não somar:

- ✓ O valor de uma barragem de terra com sua alternativa em concreto, por exemplo.

- ✓ O valor da tubulação de baixa pressão com o do canal de adução, que se excluem.
- ✓ O valor do vertedouro para uma barragem de concreto, pois se assumiu que a barragem será bem feita a ponto de permitir o galgamento durante as cheias.

Nesses caso, é preciso apagar os valores daqueles itens que não serão executados.

19 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

A avaliação econômica consiste em determinar os benefícios econômicos decorrentes da implantação da Usina. Para isso, são utilizadas técnicas para comparar os gastos com implantação e manutenção da usina com os benefícios e economia obtidos com sua operação.

Na pasta 18 precisam ser colocados alguns números relativos aos seus gastos com energia elétrica (se já houver ligação na propriedade), com a substituição de motores à explosão por motores elétricos, e também com a melhoria e ampliação dos negócios propiciada pela maior oferta de energia. Esses dados serão utilizados na pasta 19, adiante.

Caso já exista ligação de energia elétrica na propriedade, é preciso colocar a média de consumo (célula B5), o consumo da última conta (célula B6) e o valor da última conta (célula B7). Na célula B8 o programa calcula sua média de consumo.

Nas linhas 11 a 14, é verificado se a usina pode atender a todo o consumo de energia elétrica atual da propriedade. Caso pare qualquer dúvida, consulte o gráfico de produção e consumo na pasta “Graf”.

Nas linhas 21 a 31 é preciso estimar o valor de venda dos equipamentos que deverão ser substituídos (coluna B), se houver, bem como o valor do gasto mensal com combustíveis e manutenção (coluna C).

Nas linhas 39 a 57, coloque o preço dos equipamentos que irão substituir os antigos, se houver, e os equipamentos novos, que irão ampliar a produção da propriedade.

É importante que esses equipamentos novos sejam os mesmos previstos para o futuro na pasta 3- Uso da energia. Caso tenha surgido alguma idéia nova, é preciso ir até a pasta 3 e inserir as novas informações.

Para os equipamentos referentes à ampliação, é preciso estimar o lucro líquido mensal que cada um deles deverá trazer para a propriedade. Para os equipamentos substituídos, sugere-se que o lucro admitido seja zero.

A pasta 19 tem duas funções: calcular o retorno do investimento e resumir os dados da usina para consulta. E a pasta que realmente interessa para comparar alternativas, se possível deve ser impressa.

Na célula H3, é preciso colocar o nome do arquivo que está sendo gravado, para permitir a consulta futura.

Nas células H4 a H9, estão colocadas informações como a queda líquida, a vazão turbinada e o valor do investimento total, incluindo a modernização da propriedade.

Na célula H10, é colocada a taxa de depreciação da usina. Depreciação é o termo técnico que designa o envelhecimento de um bem ou equipamento. Sugere-se uma taxa de depreciação de 4% ao ano, que significa que a usina deverá durar 25 anos apenas com manutenções de rotina. Em outros termos, $4\% \times 25 \text{ anos} = 100\%$.

Na célula H11, é preciso colocar a porcentagem de capital próprio que será utilizado na construção da usina. Por exemplo, se a usina custa 100 mil e o banco vai emprestar 80 mil, a porcentagem de capital próprio é de 20%.

Na célula H13, é preciso colocar a taxa de juros anual do empréstimo, se houver. Na célula H14, o número de prestações em meses. Os “sites” da ELETROBRAS <www.eletronbras.gov.br> e do BNDES

<<http://www.bndes.gov.br/linhas/>> apresentam algumas linhas de financiamento para produtores rurais que poderão ser utilizadas para financiamento.

Na célula H15, o programa calcula o valor estimado da prestação, e copia na célula H16, valor efetivo da prestação. Isso porque é difícil calcular com exatidão o valor da prestação, que normalmente é acrescido de taxas, seguros, comissões, franquias e outros extras que precisam ser verificados caso a caso. Depois que houver uma posição mais clara acerca da prestação, o valor real pode ser digitado sobre o antigo.

Na linha 18, é preciso colocar a taxa anual de remuneração do capital próprio. É quanto de juros se obtém por ano com uma aplicação financeira ou poupança, descontada a inflação. Por exemplo, uma aplicação de renda fixa que renda 15% ao ano com uma inflação de 7% ao ano implica numa taxa de remuneração de capital próprio de $15\% - 7\% = 8\%$ ao ano.

Na linha 19, é preciso colocar o prazo para recuperação do capital próprio, em meses. É uma decisão muito particular, mas admite-se que cinco anos para a recuperação de um capital investido seja um valor aceitável para uma usina de pequeno porte. Naturalmente o prazo pode ser maior, desde que não ultrapasse a vida útil da usina, estimada em 25 anos.

Na linha 20, é colocado o custo mensal do capital próprio, calculado sobre as informações anteriores. É como se você tomasse dinheiro emprestado com você mesmo para construir a usina, pagando prestações mensais com juros (remuneração do capital próprio) ao longo do prazo de recuperação do capital próprio.

Na linha 21, é preciso colocar o prazo para a construção da usina, em meses. Uma usina pequena pode ser montada em até um ou dois meses. Esse prazo cresce junto com o tamanho da usina. Notar que obras muito lentas ou paradas custam muito, pois o dinheiro que já foi investido não está rendendo. É preferível juntar o dinheiro necessário ao longo do tempo, aplicando no banco, do que fazer obras “aos poucos”. Por outro lado, obras muito rápidas

normalmente custam mais, pois pode haver pagamento de horas extras, além de uma tendência ao desperdício de material.

Nas linhas 22 e 23, é preciso escrever “sim ou não”. Dependendo do tipo de financiamento, será preciso ou não pagar prestações durante a construção da usina. Se for preciso usar o dinheiro próprio para construir a usina, digite sim na célula H23.

Na linha 24, é colocada a previsão de despesas com operação e manutenção da usina, normalmente estimada em 4% do custo da usina, ao ano.

Na linha 25, digitar sim se as despesas com a construção poderão ser deduzidas do imposto de renda, como investimento.

O retorno do investimento conforme o prazo é apresentado entre as linhas 28 e 33. A taxa interna de retorno mensal é em essência o lucro obtido com o investimento. Como o capital próprio já foi remunerado e devolvido ao dono, uma taxa de retorno positiva já deve ser entendida como vantajosa. Por exemplo, uma taxa de retorno de 1% ao mês equivale a 12,6 % ao ano, mais que os 8% que podem ser obtidos hoje (julho de 2004) no mercado financeiro.

Podem ocorrer mensagens de erro do tipo #num! no cálculo da TIR. Isso é consequência de uma limitação do MS-EXCEL, e significa que a TIR ficou fora da faixa de cálculo. É possível corrigir isso, “assoprando” para o EXCEL um número de TIR que será uma espécie de ponto de partida para os cálculos. Para isso, é preciso “entrar” na ajuda do MS- EXCEL e buscar informações sobre a função TIR.

20 ESTUDO DE ALTERNATIVAS

A maior vantagem do programa é que fica fácil e rápido analisar e comparar alternativas, pois somente será preciso alterar alguns dados de cada vez, até se chegar a uma alternativa melhor.

Todavia, é conveniente sugerir alguns procedimentos:

- ✓ Antes de iniciar uma alternativa, salve a planilha com o nome da nova alternativa. Assim o risco de perder os dados com as alternativas e aproximações é menor. Anote as alternativas analisadas em um local à parte, se possível imprima a folha resumo.
- ✓ Estude 3 ou 4 “alternativas-mãe”, que darão origem a outras variantes. Mude a barragem de lugar, a casa de força, suprima o canal de adução e a tubulação forçada por uma única tubulação, aumente e diminua a vazão turbinada, até chegar em um ponto ideal.

21 NEM TUDO É DINHEIRO

Quando se analisa a viabilidade de uma usina que deve operar por pelo menos 25 anos, existem fatores que não podem ser expressos em moeda.

Vivemos em um mundo cada vez mais carente de recursos energéticos. Embora as reservas de petróleo e gás devam durar por mais algumas décadas, o preço tende a subir, pois a cada dia fica mais difícil (e caro) buscar o produto, perfurando através de águas cada vez mais profundas.

Os dois países mais populosos da Terra- China e Índia- finalmente parecem ter despertado para o desenvolvimento econômico e humano. Embora o consumo de energia por indivíduo na China seja muito menor do que o do seu semelhante Norte Americano, o maior consumidor do mundo, o país asiático como um todo já é o segundo maior consumidor de energia no mundo. A continuidade do desenvolvimento econômico na Ásia poderá mudar muita coisa no cenário energético do mundo. Caso não apareçam tecnologias milagrosas, o futuro energético deverá ser caro, escasso e muitas vezes violento.

No Brasil, vive-se um momento de calma aparente quando o assunto é suprimento. O país tem hoje (julho/2004) uma grande oferta de energia

elétrica, por conta da grande expansão vivida nos últimos anos, pelas chuvas abundantes, que encheram os grandes reservatórios e pela economia ainda desaquecida. Todavia, os investimentos em novas usinas estão parados, pois o país ainda não encontrou uma fórmula para conciliar a exploração privada das fontes de energia com os grandes investimentos e prazos de retorno financeiro que são típicos desses investimentos.

Quando o assunto é preço, o tempo presente já é negro. A energia elétrica no Brasil é uma das mais caras do mundo, por conta de tributos e da falta de regras claras para se operar no ramo de energia.

Apesar de tão criticadas por ambientalistas, as hidroelétricas ainda permitem acumular água doce, bem essencial para a vida e para a produção agrícola.

Portanto, quem possui hoje um rio e uma queda d'água em uma propriedade, tem um bilhete de loteria que, se já não estiver premiado, provavelmente o será no futuro.