

# ESTIMATIVA DE CUSTO PARA IMPLANTAÇÃO DE MICRO CENTRAIS HIDRELÉTRICAS COM POTÊNCIAS DE 5, 10 e 15 kW <sup>1</sup>

Carlos Roberto BALARIM<sup>2</sup>, Ricardo F. C. AMORIM<sup>3</sup>, Luiz Antonio TARGA<sup>4</sup>

**RESUMO:** O presente trabalho apresenta método para a avaliação do custo de implantação de micro centrais hidrelétricas apropriadas para comunidades pequenas e isoladas. Foi elaborado projeto-padrão para centrais com potência de 5, 10 e 15 kW e quedas de água variando de 5 a 60 metros e os resultados obtidos podem ser usados para a análise rápida de um projeto de implantação de uma micro central hidrelétrica, definindo o valor do investimento através de um gráfico queda x potência x custo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Custo, microcentral hidrelétrica

**ABSTRACT:** This work presents a cost evaluation method for hydroelectric power plants with suitable technology for small isolated communities. The research was done for a standard typical project with installed capacities varying from 5 to 15 kW and heads from 5 to 60 meters. These results can be used for preliminary feasibility studies of a given site. Costs are presented with the use of “cost x head x capacity” curves.

**KEYWORDS:** Costs, micro hydroelectric power

**INTRODUÇÃO:** O provável esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, previsto para meados do século XXI e o contínuo aumento das necessidades energéticas da população do planeta faz com que a construção de uma micro central hidrelétrica deva ser levada em conta para o atendimento local das necessidades de energia elétrica, notadamente em micro regiões desfavorecidas pelo sistema das grandes concessionárias. A micro central hidrelétrica, em função de circunstâncias operacionais, ambientais, de economia de combustível e de custos de investimentos, pode ser uma alternativa conveniente e atraente, tanto para o investidor como para a nação.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Para a estimativa de custos que constitui a proposta do presente trabalho, foi elaborado um projeto-padrão no qual as quedas são obtidas ao longo do desenvolvimento de um talvegue de forte declividade, com abrangência de 24 diferentes combinações de potências e quedas, variando aquelas de 5 a 15 kW e estas de 5 a 60 metros, todas representando arranjos possíveis em locais reais. Por atender a todos os requisitos de representatividade necessários, foi escolhido para o projeto-padrão o local denominado Salto do Guarituba, situado sobre o rio de mesmo nome, um dos formadores do rio Ribeira, a 400 metros da localidade de Cerradinho, distrito de Itaiacoca, município de Ponta Grossa, Paraná. Compõem o aproveitamento: barragem-vertedouro de concreto tipo gravidade, tomada de água com desarenador, adução em baixa pressão em canal

---

<sup>1</sup> Parte da dissertação de mestrado do 1º autor intitulada: Avaliação expedita do custo de implantação de micro centrais hidrelétricas.

<sup>2</sup> Aluno do Curso de PG Energia na Agricultura - FCA/UNESP - Botucatu/SP - Brasil e Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil - UEPG - Ponta Grossa/Pr - Brasil.

<sup>3</sup> Aluno do Curso de PG Energia na Agricultura - FCA/UNESP - Botucatu/SP - Brasil.

<sup>4</sup> Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Rural - FCA/UNESP - Botucatu/SP - Brasil.

trapezoidal revestido com alvenaria, câmara de carga com grade metálica, tubulação forçada em aço dúctil com junta elástica, casa de máquinas em alvenaria, equipamento eletromecânico (turbina Francis caixa espiral e gerador tipo síncrono), linha de alimentação em baixa tensão e canal de fuga de mesma seção que o canal de adução. Para a obtenção dos custos correspondentes às 24 variantes do projeto-padrão, realizou-se pré-dimensionamento de todos os elementos componentes de cada solução e, com os elementos pré-dimensionados foram calculados os custos totais, tomando por base os valores unitários pesquisados no mercado.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A partir dos procedimentos anteriormente descritos, foram elaborados quadros de pré-dimensionamento para as diferentes partes componentes do aproveitamento e foi realizada a composição que fornece a estimativa de custo para a implantação da micro central hidrelétrica (Quadro 1). É de se notar a influência da adoção de dimensões mínimas construtivas, tanto mais forte quanto maior a queda e, portanto, menor a vazão necessária, especialmente no canal de adução e na tubulação forçada. A esta última, acrescenta-se o efeito da adoção de bitolas comerciais. A análise do Quadro 1 demonstra ainda que seis itens (barragem, adução, tubulação forçada, equipamento eletromecânico, casa de máquinas e linha aérea de distribuição) foram responsáveis pela quase totalidade dos custos (chegando a 97% em alguns casos), cabendo aos demais elementos uma participação ínfima nos custos do aproveitamento. A casa de máquinas chega a representar 21% dos custos: a área de construção, dependente das dimensões do equipamento eletromecânico, tem pequena variação com o aumento da potência. O equipamento eletromecânico, representa de 11 a 36% do custo total, refletindo a extraordinária relevância dos custos das obras civis nesses casos. A análise estatística dos resultados permitiu a determinação dos coeficientes A, B e C, com seus respectivos intervalos de confiança, e o coeficiente de determinação  $R^2$  (Quadro 2). A Fig. 1 representa o conjunto das curvas obtidas para as citadas regressões. Para a faixa de potência dos aproveitamentos estudados, nota-se um pequeno aumento de custo com a altura de queda a partir dos 20m, demonstrando claramente a existência de um ponto de custo mínimo situado entre as baixas quedas (5 e 20m) e um ramo ascendente que se manifesta a partir dos 20m de altura de queda.

**CONCLUSÕES:** Os resultados obtidos sobre os custos de implantação de micro usinas hidrelétricas, localizadas em trechos de rios, com forte declividade de natureza contínua, autorizam as seguintes conclusões: (1) o custo de implantação pode ser expresso pela equação:  $Custo = (A + B.H + C/H) \times 1000$ , onde: H = queda, em metros e, A, B e C = coeficientes apresentados no Quadro 2; (2) desde que estejam asseguradas as condições topográfica, hidrológica e de localização, a queda mais adequada se situa na faixa dos 20 metros; (3) pode-se esperar custos por kW instalado, desde 1970 reais até 5550 reais (março, 1996), tanto menores quanto maior for a potência instalada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALARIM, C. R. **Avaliação expedita do custo de implantação de micro centrais hidrelétricas**. Botucatu, 1996. 158p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.  
Quadro 1 - Estimativa de custo para implantação de micro centrais hidrelétricas.

| POTÊNCIA (kW) | QUEDA (m) | BARRAGEM | TOMADA DE ÁGUA | CANAL DE ADUÇÃO | CÂMARA DE CARGA | CONDUTO FORÇADO | CASA DE MÁQUINAS | EQUIPAMENTOS ELETROMECÂNICOS | CANAL DE FUGA | LINHA DE TRANSMISSÃO | SOMA (R\$) |
|---------------|-----------|----------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------------------|---------------|----------------------|------------|
| 5             | 5         | 8.022,58 | 360,96         | 521,45          | 691,75          | 1.419,11        | 5.730,38         | 8.163,63                     | 173,82        | 2.658,20             | 27.741,88  |
|               | 10        | 8.022,58 | 309,79         | 769,43          | 491,80          | 1.102,00        | 4.742,25         | 6.063,75                     | 153,89        | 2.658,20             | 24.313,69  |
|               | 15        | 8.022,58 | 299,00         | 1.134,28        | 417,78          | 818,75          | 4.278,39         | 5.095,64                     | 145,42        | 2.658,20             | 22.870,04  |
|               | 20        | 8.022,58 | 293,43         | 1.939,44        | 376,99          | 1.875,58        | 3.705,47         | 4.504,01                     | 140,54        | 2.658,20             | 23.516,25  |
|               | 30        | 8.022,58 | 287,85         | 3.027,55        | 333,84          | 2.931,56        | 3.578,09         | 3.784,92                     | 134,56        | 2.658,20             | 24.759,15  |
|               | 40        | 8.022,58 | 282,63         | 3.911,48        | 310,61          | 1.990,94        | 3.578,09         | 3.345,48                     | 131,70        | 2.658,20             | 24.231,71  |
|               | 50        | 8.022,58 | 282,28         | 5.130,83        | 295,48          | 2.156,20        | 3.247,27         | 3.040,07                     | 129,24        | 2.658,20             | 24.962,14  |
| 60            | 8.022,58  | 277,06   | 6.092,85       | 281,32          | 2.156,20        | 3.247,27        | 2.811,35         | 127,73                       | 2.658,20      | 25.674,56            |            |
| 10            | 5         | 8.022,58 | 650,27         | 639,20          | 1.010,62        | 2.444,51        | 6.254,65         | 11.409,88                    | 213,07        | 3.126,56             | 33.771,33  |
|               | 10        | 8.022,58 | 346,35         | 869,08          | 691,75          | 1.551,89        | 4.742,25         | 8.474,99                     | 173,82        | 3.126,56             | 27.999,26  |
|               | 15        | 8.022,58 | 320,59         | 1.256,67        | 565,67          | 1.102,00        | 4.278,39         | 7.121,90                     | 161,11        | 3.126,56             | 25.955,47  |
|               | 20        | 8.022,58 | 309,79         | 2.123,63        | 491,80          | 2.489,44        | 4.278,39         | 6.295,02                     | 153,89        | 3.126,56             | 27.291,10  |
|               | 30        | 8.022,58 | 299,00         | 3.271,97        | 417,78          | 3.880,93        | 3.705,47         | 5.289,98                     | 145,42        | 3.126,56             | 28.159,70  |
|               | 40        | 8.022,58 | 293,43         | 4.174,02        | 376,99          | 3.195,98        | 3.578,09         | 4.675,79                     | 140,54        | 3.126,56             | 27.583,98  |
|               | 50        | 8.022,58 | 293,08         | 5.460,87        | 350,61          | 3.460,40        | 3.578,09         | 4.248,94                     | 137,55        | 3.126,56             | 28.678,68  |
| 60            | 8.022,58  | 287,85   | 6.418,40       | 333,84          | 2.156,20        | 3.578,09        | 3.929,27         | 134,56                       | 3.126,56      | 27.987,36            |            |
| 15            | 5         | 8.022,58 | 1.031,46       | 736,69          | 1.252,38        | 2.444,51        | 6.799,05         | 13.878,20                    | 245,56        | 4.005,92             | 38.416,36  |
|               | 10        | 8.022,58 | 564,14         | 970,63          | 868,17          | 2.030,15        | 5.226,25         | 10.308,40                    | 194,13        | 4.005,92             | 32.190,36  |
|               | 15        | 8.022,58 | 360,96         | 1.355,76        | 691,75          | 1.551,89        | 4.742,25         | 8.662,60                     | 173,82        | 4.005,92             | 29.567,53  |
|               | 20        | 8.022,58 | 320,94         | 2.268,93        | 594,49          | 3.457,17        | 4.278,39         | 7.656,84                     | 164,42        | 4.005,92             | 30.769,67  |
|               | 30        | 8.022,58 | 309,79         | 3.462,43        | 491,80          | 3.876,00        | 4.278,39         | 6.434,37                     | 153,89        | 4.005,92             | 31.035,17  |
|               | 40        | 8.022,58 | 304,22         | 4.393,94        | 436,87          | 4.222,74        | 3.705,47         | 5.687,32                     | 147,94        | 4.005,92             | 30.927,00  |
|               | 50        | 8.022,58 | 298,65         | 5.712,84        | 399,40          | 3.460,40        | 3.578,09         | 5.168,13                     | 143,90        | 4.005,92             | 30.789,91  |
| 60            | 8.022,58  | 293,43   | 6.703,72       | 376,99          | 3.460,40        | 3.578,09        | 4.779,30         | 140,54                       | 4.005,92      | 31.360,97            |            |

Quadro 2 - Estimativa dos parâmetros e R<sup>2</sup> do modelo de regressão ajustado.

| Potência | Estimativa dos parâmetros |         |        |        | R <sup>2</sup> |         |       |
|----------|---------------------------|---------|--------|--------|----------------|---------|-------|
|          | A                         |         | B      |        |                | C       |       |
| 5        | 19.8128                   |         | 0.0904 |        | 36.6853        |         | 89,20 |
|          | 17.6152                   | 22.0101 | 0.0446 | 0.1362 | 22.0086        | 51.3620 |       |
| 10       | 22.2377                   |         | 0.0967 |        | 53.3307        |         | 86,43 |
|          | 18.4064                   | 26.0690 | 0.0169 | 0.1765 | 27.7430        | 78.9184 |       |
| 15       | 25.4027                   |         | 0.0885 |        | 61.5340        |         | 93,76 |
|          | 22.3160                   | 28.4895 | 0.0242 | 0.1528 | 40.9189        | 82.1491 |       |

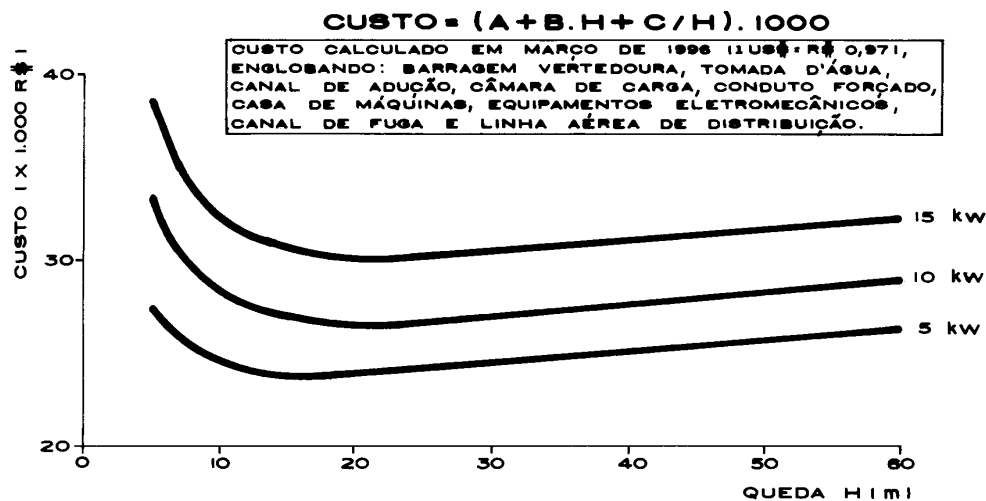


FIGURA 1 - Custo de micro centrais hidrelétricas para as potências de 5, 10 e 15 kW em função da potência e da queda.