

AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA A BARRAGEM DO RIO BANANAL, NA BACIA DO RIO JEQUITINHONHA (MG)¹.

Marta Vasconcelos Ottoni² & Elisa Resende Alvim da Silva³

RESUMO

O trabalho buscou uma outra alternativa de projeto para a barragem de Bananal/MG, já construída no rio Bananal, 33 km a montante da cidade de Salinas/MG. Foi feito um estudo de correlação entre as vazões médias mensais de 9 postos próximos à bacia do Bananal, para a determinação da série de vazões médias mensais no local do Aproveitamento. Em seguida, foram definidas as cheias de projeto da barragem, as vazões de regularização e as planilhas de custos para as opções estudadas. Baseado nisto, realizou-se a análise financeira do empreendimento, onde foram estabelecidos os valores das tarifas (R\$) por m³ para as diferentes alternativas. O critério de seleção foi o de definir aquela que gerasse o maior volume regularizado, ao mesmo tempo que possuísse uma menor 'tarifa por m³', assumindo uma taxa única, independente do uso. A opção escolhida foi a da cota 605,0 m para crista da barragem, 4 metros acima da do barramento atual. Na alternativa selecionada, haveria aumento de 15,7% e redução de 1,69%, respectivamente, na descarga regularizada e na 'tarifa por m³', em relação ao empreendimento existente.

ABSTRACT: EVALUATION OF ALTERNATIVES TO THE BANANAL DAM, IN THE JEQUITINHONHA RIVER WATERSHED.

Another design alternative to the Bananal Dam Project is proposed in this article. Such dam has already been built in the Bananal river and it is located 33km upstream from the city of Salinas/MG (Brazil). It was carried out a correlation study of the monthly average discharges at 9 river gage stations, situated close to the Bananal watershed, to determine a series of such flows at the Project site. Next, it were defined the peak discharges and the regularized flows, and a cost study of the alternatives was also prepared. Based on that, the financial analysis of the investment was made, which determined the 'tariff value per m³' for the different alternatives. The criterion was to select the alternative that presented the greatest regularized volume, with the smallest 'tariff per m³', assuming a single tax, regardless the kinds of water use. The option chosen is the 605,0m altitude dam crest, 4 meters above the current dam. In such selected choice, there would be an increase of 15,7% and a reduction of 1,69%, respectively, in the regularized discharge and 'tariff per m³', with respect to the existing dam.

PALAVRAS-CHAVE: Aproveitamento Bananal, vazão regularizada, tarifa.

¹ Extraído do projeto para obtenção do grau de engenheiro civil das duas autoras, apresentado à Universidade Federal do Rio de Janeiro em mai/2003.

² Eng. Civil, Aluna de Mestrado do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ: (21) 2562-7997, mar025@ig.com.br. Av. Brigadeiro Trompowski, s/nº, Prédio do Centro de Tecnologia, Bloco D, 2º andar, sala 204. Cidade Universitária. Rio de Janeiro/RJ. CEP 21941-590.

³ Eng. Civil, Aluna de mestrado do Programa de Engenharia Oceânica da COPPE/UFRJ: (21) 2562-7997, za_alvim@yahoo.com.br. Av. Brigadeiro Trompowski, s/nº, Prédio do Centro de Tecnologia, Bloco D, 2º andar, sala 204. Cidade Universitária. Rio de Janeiro/RJ. CEP 21941-590.

INTRODUÇÃO

O Aproveitamento de Bananal/MG é uma barragem destinada para usos múltiplos, tais como irrigação, perenização e geração hidrelétrica, localizado na bacia do rio Bananal, a 33 km da cidade de Salinas (MG). A implantação deste empreendimento pretende modificar o quadro de escassez de sua bacia, que é um dos fatores de estrangulamento do desenvolvimento econômico e social da região. Atualmente, o referido aproveitamento se encontra em operação, atendendo prioritariamente à irrigação e perenização do rio Bananal.

Em 1991, foi desenvolvido um estudo realizado pela ENGEVIX [1] – Engenharia S/A para Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG, denominada 'Perenização do Curso d'água para Usos Múltiplos'. Neste contexto, elaborou-se um relatório técnico do Projeto do Aproveitamento do Bananal, onde se contemplaram os principais estudos técnicos que subsidiaram a execução da obra, os critérios de projeto adotados, as principais alterações de projeto quando da construção, além da descrição das principais obras civis, cronogramas de construção, planilhas de quantidades e custos, documentos emitidos e equipe técnica.

O Aproveitamento de Bananal localiza-se no rio Bananal, no município de Salinas, distante cerca de 700 km de Belo Horizonte, situando-se junto ao curso médio do rio Jequitinhonha. Tem como coordenadas geográficas $16^{\circ} 05'15''$ de latitude sul e $42^{\circ} 03'23''$ de longitude oeste. O rio Bananal (Figura 1) é afluente da margem esquerda do rio Salinas, o qual é afluente da margem esquerda do rio Jequitinhonha (Figura 2).

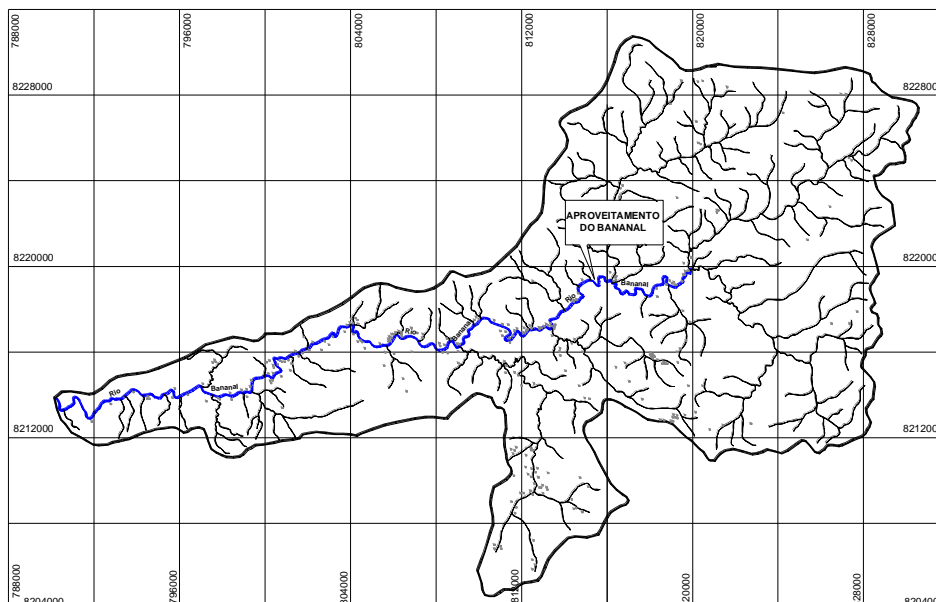


Figura 1 – Bacia Hidrográfica do rio Bananal

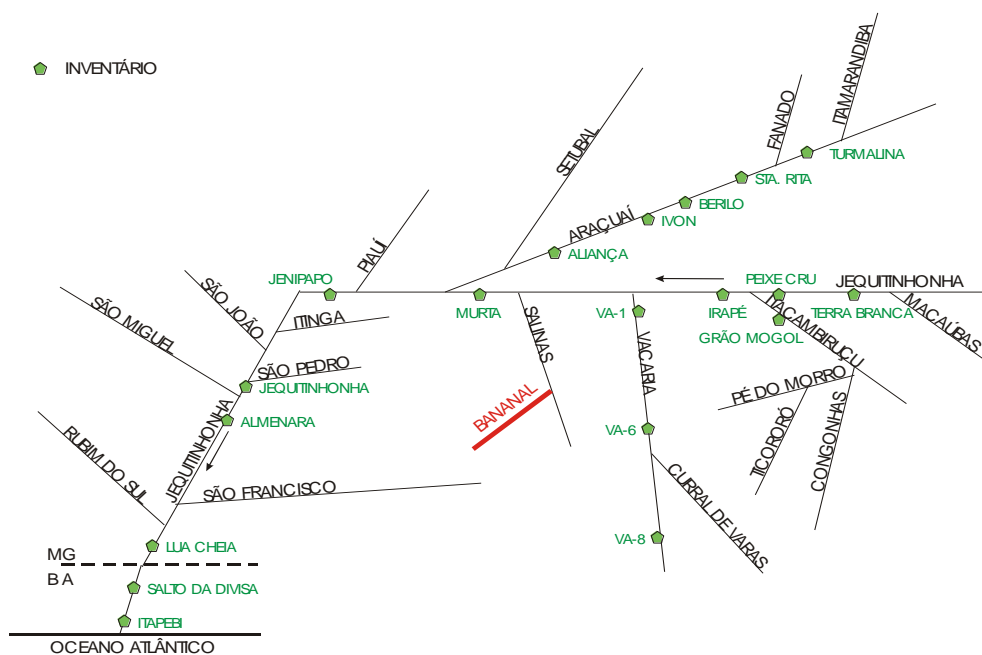


Figura 2⁴ – Diagrama Unifilar – Localização do rio Bananal.

Visando estudar novas alternativas de cotas de barragem, incluindo aquela já existente, a fim de averiguar quanto mais de água poderia ser disponibilizada, assim como determinar seu valor por m³, realizou-se uma avaliação de alternativas para a barragem do rio Bananal. Para tanto, foi necessário que antes fosse determinada a série de vazões médias mensais, no intuito de se obter as vazões regularizadas para cada altura de barramento. Além disso, foi preciso definir as cheias de projeto, com objetivo de preencher uma das lacunas das planilhas de custo. Finalmente, de posse dos custos totais do empreendimento, do cronograma físico da obra e das vazões regularizadas, realizou-se a análise financeira do empreendimento onde se obteve as ‘tarifas por m³’ para as alternativas estudadas.

ESTUDOS HIDROLÓGICOS

A bacia do rio Bananal caracteriza-se por uma carência de dados hidrológicos, haja vista que até a data de início deste estudo, não havia sido registrada nenhuma estação fluviométrica no rio Bananal (DNAEE) [2]. Somente na sub-bacia do rio Salinas, foi operado um posto entre dezembro/36 e abril/46, com algumas medições de descarga, mas em abrangência insuficiente para definição da curva-chave. Em vista desta carência de dados foram adotadas metodologias que pudessem, através de informações de outras bacias, caracterizar a hidrologia da área de interesse.

⁴ Fonte: Relatório Anual do GTIB. GCPS, CTEE & GTIB, 1998

Estudo das vazões médias mensais

1) Primeiramente, foi escolhida uma rede hidrométrica, segundo o seguinte critério:

Escolha dos postos fluviométricos que estivessem próximos da bacia do rio Bananal, possuindo áreas de drenagens no máximo seis vezes maior que a área de drenagem da bacia em estudo e que estivessem localizados na região hidrográfica (RH) da bacia do rio Bananal, que é uma das 5 RH's definidas no Plano Diretor de Recursos Hídricos dos vales do Jequitinhonha e Pardo (SRHSH) [3] . Estas regiões agrupam as sub-bacias dos dois rios de acordo com suas semelhanças hídricas e climatológicas. Os postos assim escolhidos foram: Ponte Vacaria, Rubelitas, Ponte MG, Usina Turmalina, Minas Novas, Queixada, Alfredo Graça, Fazenda Facão, Medina.

2) Após definida a rede hidrométrica, selecionou-se aquele posto que apresentasse o maior número de dados de vazão. Este posto (Minas Novas) foi denominado de posto base, com 62 anos de dados de vazão média mensal.

3) Em seguida, estabeleceu-se uma regressão linear dos dados de vazão média mensal do posto base com os dados correspondentes dos demais postos da rede hidrométrica, definindo para cada caso, uma equação de regressão com os respectivos coeficientes de determinação, R^2 (Tabela 1). Verifica-se que, dentre as equações obtidas, as de melhor qualidade foram as dos postos Queixada e Ponte MG-214.

4) Dentre estes 2 postos acima selecionados, escolheu-se aquele que possuísse características fisiográficas e climatológicas mais semelhantes com as da bacia em estudo, sendo então escolhido, o posto Queixada.

5) Para a obtenção da série de vazão média mensal do posto de Queixada, utilizou-se, nos meses de falta, a equação de regressão do posto (Tabela 1), assim como, a série histórica de vazão média mensal do posto Minas Novas.

6) Finalmente, com a série de vazões específicas do posto Queixada, foi possível obter a série de vazões médias mensais do eixo da barragem do Bananal, mediante aplicação da equação 1,

$$Q_{EIXO_i} = Q_{QUEIXADA_i} \times \frac{AD_{EIXO}}{AD_{QUEIXADA}} \quad (1)$$

onde i é o mês, Q a vazão em m^3/s e AD a área de drenagem em km^2 .

Pelo procedimento acima foi possível definir a série média mensal no local do Aproveitamento entre 1931 até 1996, sendo o valor da vazão média de longo termo de $1,14 m^3/s$ e a vazão média do período crítico (jun/49 a nov/56) de $0,93 m^3/s$.

Tabela 1 – Equações de regressão das vazões médias mensais do posto Minas Novas, Q_{MN} , com as dos postos da rede hidrométrica, com os respectivos valores de R^2 e o número de dados de correlação, n.

Postos	Equação de Regressão	R^2	n
Usina Turmalina	$Q_{Usina\ Turmalina} = 0.0815 * Q_{MN} + 0.2768$	0.6933	164
Rubelita	$Q_{Rubelita} = 0.6807 * Q_{MN} - 1.2518$	0.7135	20
Queixada	$Q_{Queixada} = 0.2731 * Q_{MN} + 0.0033$	0.8472	49
Fazenda facão	$Q_{Fazenda\ Facão} = 0.6233 * Q_{MN} - 0.4239$	0.4272	135
Medina	$Q_{Medina} = 0.2256 * Q_{MN} + 0.0548$	0.4582	154
Ponte Vacaria	$Q_{Ponte\ Vacaria} = 1.6643 Q_{MN} - 3.8347$	0.7157	248
Ponte MG-214	$Q_{Ponte-MG} = 1.7376 Q_{MN} + 4.1541$	0.9229	17
Alfredo Graça	$Q_{Alfredo\ Graça} = 0.6757 * Q_{MN} - 0.3275$	0.6763	349

Estudo de Cheias

O método utilizado para obtenção da cheia de projeto na bacia do Bananal, foi, para um dado tempo de retorno, o da regionalização das vazões máximas específicas dos postos da rede hidrométrica, com exceção de alguns postos que apresentaram números de dados insuficientes (Rubelita, Ponte-MG e Queixada).

As vazões máximas relacionadas a diferentes tempos de recorrência, para cada posto, foram obtidas mediante o uso de um programa, denominado ‘Qmáxima’ (ELETROBRÁS) [4], que utiliza as distribuições estatísticas do tipo Gumbel e Exponencial. Este programa requer a entrada das vazões máximas anuais registradas em cada posto da rede hidrométrica. Dos resultados calculados e dadas as áreas de drenagem dos postos, foram obtidas, as vazões máximas específicas relacionados aos tempos de recorrência arbitrados, que no caso foram de 10, 50, 100 e 1.000 anos

Finalmente, de posse destes dados, foi possível correlacionar os dados de vazão máxima específica para os diversos tempos de recorrência com as respectivas áreas dos postos, obtendo-se as equações regionais, bem como as vazões máximas no local do Aproveitamento (Tabela 2).

Tabela 2 – Equações Regionais das vazões máximas específicas, com os respectivos valores dos coeficientes de determinação (R^2), e as vazões no local do aproveitamento para os diferentes tempos de recorrências.

Tempo de Recorrência (anos)	Equação Regional	Valor de R^2	Vazão no local do Aproveitamento com AD* de 230 km ² (m ³ /s)
10	$Q_{10\text{específica}}^* = 1278.50.AD^{-0.30}$	0,8500	57.78
50	$Q_{50\text{específica}} = 1646.90.AD^{-0.2752}$	0,8675	84.80
100	$Q_{100\text{específica}} = 1786,55.AD^{-0,267}$	0,8680	95.97
1.000	$Q_{1.000\text{específica}} = 2335.70.AD^{-0.2555}$	0,8621	133.85

*Qespecífica = vazão máxima específica em l/s.km²; AD = área de drenagem, em km².

Em projeto de barragem é importante se especificar as vazões de projeto tanto para o desvio de rio, como para o vertedouro, sendo estas tomadas respectivamente, como as vazões máximas associadas aos tempos de recorrência de 10 (ou 25 anos) e 1.000 anos (Tabela 3).

Tabela 3 – Vazões de projeto para desvio do rio e vertedouro do Aproveitamento Bananal

Desvio do rio		Vertedouro
TR = 10 anos	TR = 25 anos	TR = 1.000 anos
57,78m ³ /s	71,64m ³ /s*	133,85 m ³ /s

*valor obtido por interpolação

Estudo de Regularização

Utilizou um programa (RES) (MOTTA) [5] desenvolvido na UFRJ, para o cálculo de um reservatório de regularização de superfície (açude), acoplado a um reservatório de acumulações de água subterrânea, utilizando os mantos porosos a jusante. Tal reservatório seria recarregado aproveitando-se das águas do próprio açude, e descarregado através de bombeamentos, ou por gravidade, aumentando dessa forma, o potencial hídrico regularizado do reservatório de superfície. No entanto, a intenção, no presente trabalho, no uso deste programa, é gerar apenas vazões regularizadas para quatro alturas de barragem: 598m, 601m, 605m e 609m, não considerando a recarga ou o uso de água do aquífero subterrâneo.

Os dados de entrada do programa RES são as vazões médias mensais, uma taxa anual de evaporação (tomada em 1.408,7 mm/ano) e as curvas cota-área-volume do reservatório (Figura 3). Os resultados das vazões regularizadas para as diferentes cotas de barragem, estão listados na Tabela 4.

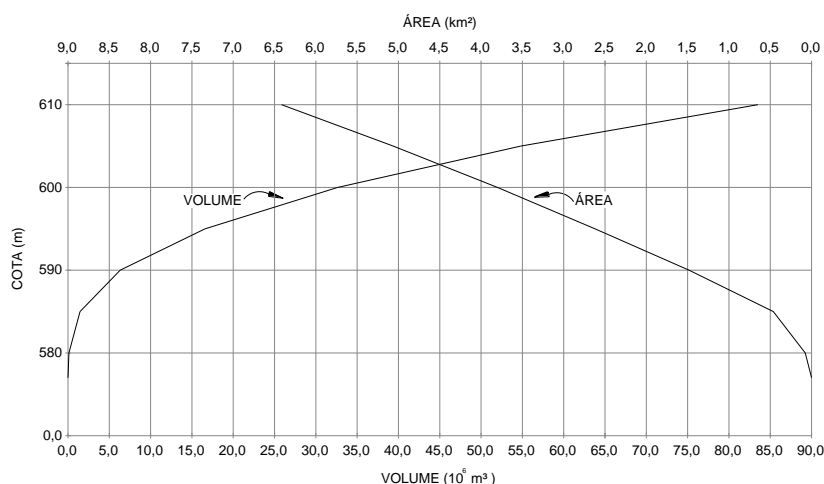


Figura 3⁵ – Curva cota-área-volume no local do Aproveitamento.

⁵ Fonte: ENGEVIX (1991). Perenização de Cursos d'água para Usos Múltiplos. Aproveitamento de Bananal. Relatório Final do Projeto. Tomo I – Texto. 99.825-RE-G-00-202.

Tabela 4 – Vazões regularizadas para as quatro alternativas de cotas de barragem do Aproveitamento Bananal.

Cotas (m)	Vazão Regularizada (m ³ /s)
598	0,497
601	0,623
605	0,721
609	0,770

Para a escolha da melhores cota de barramento e, conseqüentemente, da vazão regularizada mais adequada a ser adotada, foi feito um estudo da análise financeira do empreendimento, apresentado no item a seguir.

ANÁLISE FINANCEIRA

Para a realização da análise financeira do empreendimento para as diferentes alternativas, apresentada na forma do fluxo de caixa, requer-se a determinação do cronograma físico da obra, dos custos totais do aproveitamento, assim como os benefícios do empreendedor.

O cronograma físico da obra foi aquele composto pelo relatório técnico realizado pela ENGEVIX [1].

Os custos totais do empreendimento (Tabela 5) foram àqueles relativos ao valor de operação e manutenção, à parcela de contribuição do próprio empreendedor (durante o período de construção, que seria de 2 anos, de acordo com o cronograma físico da obra), às amortizações de capitais e juros dos empréstimos feitos por um banco financiador (BNDES).

No que se refere ao custo de operação e manutenção, este foi definido como sendo 5% do custo total da obra, e a distribuição deste montante no fluxo de caixa é feita pela divisão deste valor pelo número de anos da vida útil do empreendimento (25 anos). Os custos totais⁶ da obra (Tabela 5), para cada alternativa, foram obtidos, mediante o uso das informações gerais da barragem disponibilizadas pela ENGEVIX [1] e das vazões das cheias de projeto, calculadas no sub-item ‘Estudos de Cheias’.

Como parcela de contribuição do empreendedor, 20% dos custos totais da obra seriam bancados pelo próprio empreendedor durante os dois anos de construção da barragem. Os demais 80% seriam financiados pelo BNDES.

Quanto às amortizações de capitais (80% do custo totais da obra) e juros dos empréstimos, o próprio BNDES fornece uma planilha que permite calcular, em função das condições de financiamento, as projeções do custo de amortização do empréstimo num prazo determinado,

⁶ A planilha de custos foi baseada naquela do Aproveitamento Miringuava, PR, por apresentar características semelhantes ao empreendimento do Bananal onde se destacam-se alguns itens principais como: Construção e Manutenção do Canteiro de Obras, Obras de Terra e Rocha, Obras de Concreto, Equipamentos Hidromecânicos, Desapropriações e Relocações na Área do Reservatório.

contando os anos de carência, bem como os custos dos juros incididos sobre o montante emprestado.

No presente estudo, adotou-se como condição de financiamento o ‘BNDES Implantação , Modernização e Expansão’⁷, onde a taxa de juros adotada, bem como o tempo de carência e de amortização foram, respectivamente de 9,5%, 24 meses e 72 meses.

Já os benefícios do empreendedor, apesar de difícil quantificação, foram simplificada e definidos como sendo aqueles gerados pela disponibilização da vazão regularizada. O empreendedor da barragem obteria seus lucros/benefícios pela venda desta água para determinadas entidades governamentais, que disponibilizariam este volume comprado para diversos fins (ex. irrigação).

Tabela 5⁸ - Valores em R\$ das parcelas relativas ao custo total do empreendimento para as quatro alternativas de cotas de barragem.

Alternativas	Custo Total da Obra (x10 ³ R\$)	Custo de operação e manutenção (x10 ³ R\$)	Parcela de contribuição do empreendedor (x10 ³ R\$)	Valor das Amortização (x10 ³ R\$)	Juros (x10 ³ R\$)	Custos Totais no tempo futuro (x10 ³ R\$) ⁽ⁱ⁾	Custos Totais no tempo atual (x10 ³ R\$) ⁽ⁱⁱ⁾
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Cota 598,0 m	12.748,00	637,30	2.550,20	10.198,80	3.811,99	17.196,29	10.951,33
Cota 601,0 m	14.552,00	728,40	2.910,6	11.642,40	4350,15	19630,55	12.501,29
Cota 605,0 m	16.555,00	828,35	3.311,4	13.244,60	4.949,73	22331,07	14.221,02
Cota 609,0 m	18.633,00	932,05	3.727,2	14.906,80	5.570,33	25134,38	16.007,29

(i) Valor obtido pela somatório dos custos totais do empreendimento no tempo futuro. Tempo futuro é o tempo relativo à posição dos custos no fluxo de caixa.

(ii) Valor obtido pelo somatório dos custos totais trazidos para o tempo atual. Tempo Atual é o tempo inicial no fluxo de caixa.

Para quantificar estes benefícios ao longo dos anos no fluxo de caixa, para cada alternativa, multiplicou-se o respectivo volume regularizado por ano (sendo constante para todos os anos), pela tarifa (R\$) por m³, que a princípio é uma incógnita, assumida como taxa única e independente da forma do uso da água.

Em suma, calculados os custos e benefícios das alternativas analisadas, foi possível estabelecer seus fluxos de caixa. Nestes, foi definido como tempo total de análise, o somatório da vida útil do empreendimento, que seria de 25 anos, com os 2 anos de carência. Os benefícios, expressos em reais por m³ (R\$/m³), função da incógnita tarifa (R\$) por m³, tiveram início, no fluxo de caixa, no terceiro ano e os custos, divididos na forma de custo de amortização, juros, custo do

⁷ Fonte: site do BNDES – www.bndes.gov.br (visitada em janeiro, 2003).

⁸ Os custos totais do empreendimento distribuídos no fluxo de caixa (tempo futuro), de cada alternativa, quando são trazidos para o tempo atual (equação 2) e depois somados, apresentarão um valor, coluna (8), menor que o somatório dos custos totais no tempo futuro, coluna (7). Isto porque a taxa do tempo de retorno (15%) foi maior que a taxa de juros cobrada pelo BNDES e também pelo fato dos custos de operação e manutenção bem como os benefícios terem sido espacializados no fluxo de caixa, sem considerar a inserção da taxa relativa ao valor da moeda (variante no tempo). Estes valores foram distribuídos no fluxo de caixa, dividindo apenas o valor total de cada um destes custos pelo número de anos da vida útil deste empreendimento.

empreendedor e operação e manutenção, iniciaram-se no terceiro, primeiro, primeiro e terceiro ano, respectivamente. Na tabela 7 é ilustrado um fluxo de caixa relativo a alternativa 3, cota 605m.

Dados os fluxos de caixa das quatro alternativas, foi necessário trazer os benefícios e os custos para o valor atual, adotando a equação 2,

$$P_{ATUAL} = \frac{P_{FUTURO}}{(1+t)^n} \quad (2)$$

onde P_{ATUAL} é o valor de variável (custo ou benefício) trazido para o tempo atual, P_{FUTURO} é o valor da variável no fluxo de caixa, t é a taxa de retorno e n é o número de anos do tempo futuro (tempo no fluxo de caixa) para o tempo atual.

Em seguida, somaram-se todos os custos no tempo atual, assim como os benefícios (ainda em função da incógnita ‘tarifa por m^3 ’), para posteriormente entrar com estes valores na equação,

$$\Sigma B_{ATUAL} = L + \Sigma C_{ATUAL} \quad (3)$$

onde B e C são os benefícios e custos no tempo atual, e L o lucro do empreendimento. Desta forma, restava apenas definir um valor fixo do lucro deste empreendimento, nas diversas alternativas, de forma a obter o valor da variável-incógnita. Adotou-se então como lucro, 10% da soma dos valores de amortização e juros com os custos de operação e manutenção e a parcela de contribuição do empreendedor (20% do custo total da obra), todos no tempo atual. Finalmente, de posse dos valores de todas as variáveis definidas na equação 3, foi possível a determinar as magnitudes da ‘tarifa por m^3 ’, para cada alternativa de projeto (Tabela 6).

Tabela 6 – Valores dos custos totais do Aproveitamento, dos lucros, dos benefícios em função da tarifa T , todos no tempo atual, assim como das ‘tarifas (T) por m^3 ’ para as quatro alternativas de cotas de barragem.

Alternativas	QR ⁽ⁱ⁾ (m^3/s)	Benefício em função da tarifa T ⁽ⁱⁱ⁾ ($\times 10^3$ R\$)	Custo Total ($\times 10^3$ R\$) ⁽ⁱⁱⁱ⁾	Lucro ($\times 10^3$ R\$) ^(iv)	Tarifa (T)/ m^3 (R\$) ^(v)
Cota 598 m	0,497	88.460,55.T	10.951,33	1.095,13	0,13618
Cota 601 m	0,623	110.887,807.T	12.501,29	1.250,93	0,12401
Cota 605 m	0,721	128.329,23.T	14.221,02	1.422,20	0,12190
Cota 609 m	0,770	137.051,435.T	16.007,29	1.601,73	0,12847

(i)QR – Vazão regularizada.

(ii)Valor obtido pelo somatório dos benefícios no tempo atual. No fluxo de caixa, estes benefícios, para cada alternativa, são obtidos pela multiplicação da respectiva ‘tarifa por m^3 ’ (T) pela sua vazão regularizada anual, considerada constante no tempo.

(iii) Valor obtido pelo somatório dos custos totais no tempo atual. Estes custos consistem nos valores das amortizações, juros, operação e manutenção e parcela do empreendedor.

(iv)Valor definido como 10% do somatório dos custos das amortizações, juros, operação e manutenção e relativos à parcela de contribuição do empreendedor, todos no tempo atual.

(v)Valor obtido pela divisão do somatório das colunas (‘Custo Total’ + ‘Lucro’) pela coluna ‘Benefício em função da tarifa T ’.

Tabela 7 – Fluxo de Caixa da Alternativa 3 (cota 605 m)

Tempo (anos)	Benefício (R\$x10 ³)	Amortização (R\$x10 ³)	Juros (R\$X10 ³)	Empreendedor (R\$x10 ³)	Operação e Manutenção (R\$x10 ³)
0	0,00	0,00	(377,45)	(1.986,57)	0,00
1	0,00	0,00	(1.006,53)	(1.324,38)	0,00
2	2.773,12	(1.765,84)	(1.174,28)	0,00	(31,84)
3	2.773,12	(2.648,76)	(964,59)	0,00	(31,84)
4	2.773,12	(2.648,76)	(712,96)	0,00	(31,84)
5	2.773,12	(2.648,76)	(461,33)	0,00	(31,84)
6	2.773,12	(2.648,76)	(209,69)	0,00	(31,84)
7	2.773,12	(882,92)	(41,94)	0,00	(31,84)
8	2.773,12	0,00	0,00	0,00	(31,84)
9	2.773,12	0,00	0,00	0,00	(31,84)
10	2.773,12	0,00	0,00	0,00	(31,84)
11	2.773,12	0,00	0,00	0,00	(31,84)
12	2.773,12	0,00	0,00	0,00	(31,84)
13	2.773,12	0,00	0,00	0,00	(31,84)
14	2.773,12	0,00	0,00	0,00	(31,84)
15	2.773,12	0,00	0,00	0,00	(31,84)
16	2.773,12	0,00	0,00	0,00	(31,84)
17	2.773,12	0,00	0,00	0,00	(31,84)
18	2.773,12	0,00	0,00	0,00	(31,84)
19	2.773,12	0,00	0,00	0,00	(31,84)
20	2.773,12	0,00	0,00	0,00	(31,84)
21	2.773,12	0,00	0,00	0,00	(31,84)
22	2.773,12	0,00	0,00	0,00	(31,84)
23	2.773,12	0,00	0,00	0,00	(31,84)
24	2.773,12	0,00	0,00	0,00	(31,84)
25	2.773,12	0,00	0,00	0,00	(31,84)
26	2.773,12	0,00	0,00	0,00	(31,84)
27	2.773,12	0,00	0,00	0,00	(31,84)

(valor negativo)

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na Figura 4 são apresentados os custos totais da obra versus as ‘tarifas por m³’ para cada alternativa de projeto.

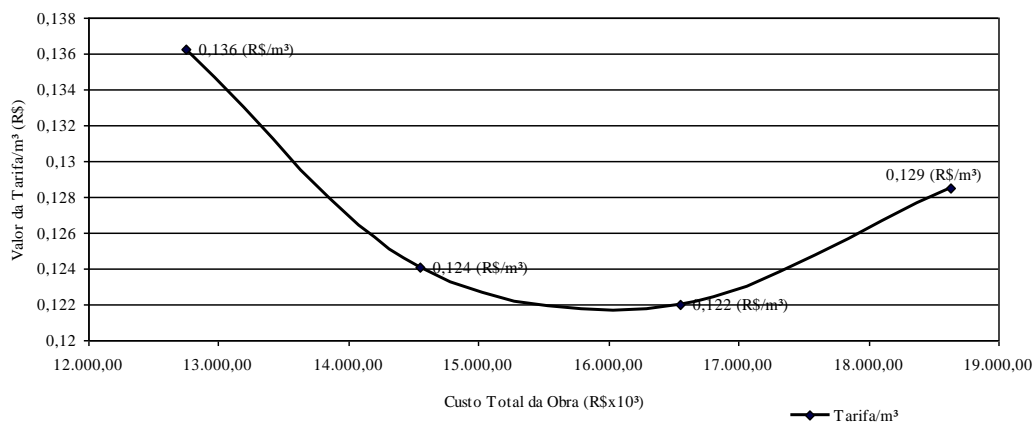


Figura 4 – Curva Custo Total da Obra x ‘Tarifa por m³’

É de se esperar a redução da tarifa com o aumento de vazão, isso porque, o percentual de aumento de vazão regularizada da alternativa 1 (cota 598 m) para alternativa 4 (cota 609 m) – 55% – foi maior que o percentual do aumento dos custos – 46,16%, mostrando que a tarifa é sensível à elevação do volume regularizado.

Verificou-se pela Figura 4 que a opção 3 (cota 605 m) foi considerada a melhor alternativa de projeto pois foi aquela que além de regularizar uma vazão considerável (0,721m³/s), de interesse para o empreendedor, apresentou a menor ‘tarifa por m³’ entre as demais (R\$/m³ - 0,1220).

Ressalta-se que o presente estudo também analisou como alternativa de altura de barragem, aquela já existente (cota 601,0 m) no rio Bananal, que regulariza 0,623m³/s, segundo a tabela 6. Pode-se observar adicionalmente, que a alternativa selecionada, cota 605 m, possui uma vazão 15,7% maior e uma tarifa 1,69% menor que da alternativa da cota de barragem selecionada no estudo anterior (ENGEVIX) [1].

Como um dos usos prioritários da barragem do Bananal é proporcionar a irrigação, o que gera empregos diretos e indiretos, podendo beneficiar aproximadamente 8.400 pessoas (MAGALHÃES & LIMA) [6], calculou-se no atual trabalho, o valor da área a ser irrigada, para cada alternativa (Tabela 8). Estas áreas foram obtidas mediante divisão dos volumes anuais regularizados (menos os volumes anuais disponibilizados para a perenização do rio Bananal), pelo valor do consumo médio de irrigação por hectare, definido em 13.000 m³/ha.ano. A vazão de perenização fixada no presente trabalho foi o mesmo adotado pela ENGEVIX [1] (0,195 m³/s).

Tabela 8 – Vazões regularizadas e áreas abastecidas pela irrigação para as quatro alternativas

Alternativas	Vazão regularizada para irrigação (m³/s)	Área a ser irrigada (ha)
Cota 598,0 m	0,302	733
Cota 601,0 m	0,428	1.038
Cota 605,0 m	0,526	1.276
Cota 609,0 m	0,575	1.395

Na Figura 5, foram definidas as curvas ‘custo total da obra x ‘tarifa por m³’ e ‘custo total da obra x área abastecida’, a fim de observar a tendência da ‘tarifa por m³’ e da área irrigada com o aumento do custo do empreendimento.

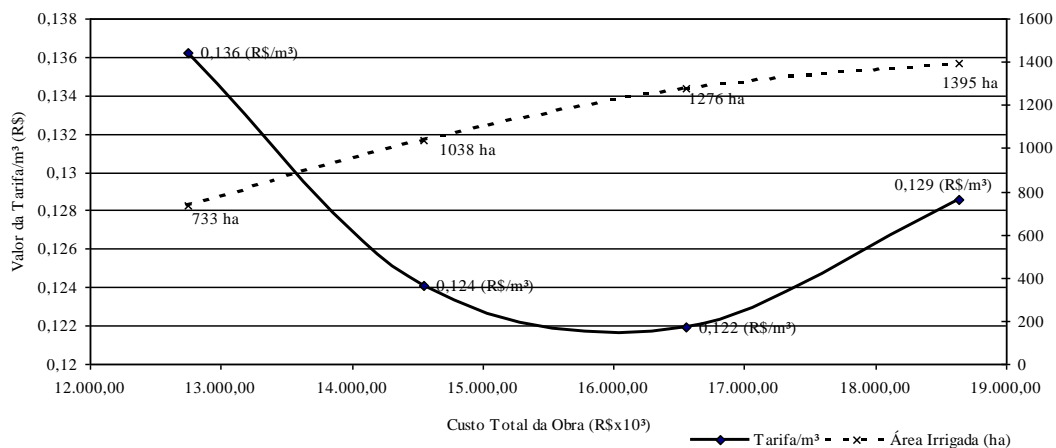


Figura 5 – Curvas custos do empreendimento x tarifa/m³ e custos do empreendimento x área irrigada

Verifica-se que a alternativa escolhida de projeto de cota de barragem (605m), irriga uma área de 1276 ha (12,76km²), 23% maior que aquela selecionada pelo estudo da ENGEVIX [1].

Desta forma, o presente estudo forneceu uma opção de altura de barragem mais atraente do que aquela do estudo anterior (ENGEVIX) [1], tanto no que se refere ao empreendedor e sociedade que disporão de maior volume de água regularizada, o que atende uma maior área de irrigação (23% maior), quanto ao comprador desta água, pois na atual alternativa selecionada a tarifa por m³ foi mínima.

Caso no cálculo da ‘tarifa por m³’ se levasse em consideração os usos destinados à água, por exemplo, geração de energia elétrica, além regularização e perenização, nesta situação, haveria possivelmente uma redução no seu valor. Isso porque a potência instalada cresce da cota 598 para cota 609 m, numa proporção maior do que o aumento da vazão regularizada. Em vista disso, a alternativa ótima poderia porventura ser a quarta opção e não mais a terceira, já que além de regularizar o maior volume de água e de gerar a maior potência instalada, talvez apresentasse o menor valor da tarifa/m³. Caso houvesse esta consideração, os custos absolutos seriam modificados e haveria a inserção de um novo benefício, aquele gerado pelo fornecimento de energia. Enfim, seria alterado todo o fluxo de caixa do empreendimento, gerando um novo resultado de tarifa/m³.

CONCLUSÃO

Tendo em vista a inconsistência dos dados hidrológicos relevantes na bacia do rio Bananal, foi apresentado um estudo de regionalização de vazões que permitiu calcular uma série de vazões médias mensais no local do Empreendimento, bem como definir vazões máximas anuais para diversos tempos de recorrência.

Também procurou-se apresentar um modelo de dimensionamento de reservatório de regularização, tendo em vista um critério estritamente econômico de minimização de tarifa de água. O reservatório atual do rio Bananal teria sido dimensionado com vazão 15,7% maior e tarifa 1,69% menor, caso fosse sugerido o critério do presente estudo, assumindo uma tarifa única independente da forma de uso da água, com crista de barragem 4,0 m acima da atual.

Isto implica em dizer que o atual estudo forneceu uma opção de altura de barragem mais atraente, tanto no que se refere ao empreendedor e sociedade, que disporão de maiores volumes de água, quanto ao comprador desta água, pois na alternativa recomendada e tarifa por m³ foi mínima.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem aos Professores Theophilo Benedicto Ottoni Filho/UFRJ e Otto Corrêa Rotunno Filho/COPPE/UFRJ pela orientação acadêmica, sem a qual não seria possível a realização deste trabalho.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] ENGEVIX (1991). Perenização de Cursos d'água para Usos Múltiplos. Aproveitamento de Bananal. Relatório Final do Projeto. Tomo I – Texto. 99.825-RE-G-00-202.
- [2] DNAEE (1996). Inventário das estações fluviométricas. 1v. Brasília.
- [3] SRHSH (1996) - Plano Diretor de Recursos Hídricos para os Vales do Jequitinhonha e Pardo. Planvale. Geotécnica. Salvador, Bahia.
- [4] ELETROBRÁS (2000). Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas.
- [5] MOTTA, R.M. (2001). Proposta de Manejo hídrico e de operação em reservatórios de estiagem, visando a incrementação de deflúvios regularizados. Projeto para obtenção do grau de engenheiro civil. Escola Politécnica da UFRJ.
- [6] MAGALHÃES, M.A & LIMA, S.C. A seca e as humanidades no processo de acesso à água: as barragens do Rio Salinas e o desenvolvimento regional. Caminhos de Geografia 4(9) 1-16, jun/2003.