

*Textos para
Discussão*

Textos para Discussão

José Carrera Fernandez
Paulo Moraes Ferreira

Faculdade de Ciências Econômicas - UFBA

Biblioteca

Nº _____ Data ____/____/____

Tombamento Patrimonial

Faculdade de Ciências Econômicas

Salvador

2004

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
Reitor
Naomar Monteiro de Almeida Filho

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação
Márcia de Fátima Dias Costa

FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS - FCE
Diretor
Luiz Antônio Mattos Filgueiras

CURSO DE MESTRADO EM ECONOMIA
Coordenador
Wilson F. Menezes

Projeto gráfico e capa
Alana Carvalho
Gabriela Nascimento

Editoração eletrônica
Linivaldo Greenholgh

*Otimização Econômica dos
Recursos Hídricos ao Nível
de Bacia Hidrográfica:
Um Estudo de Caso para a
Bacia do Rio Formoso, na Bahia*

Resumo

Este artigo aborda a questão da alocação intersetorial ótima dos recursos hídricos ao nível de bacia hidrográfica, tomando-se como referência a bacia do rio Formoso, no Estado da Bahia. Nesta abordagem, faz-se uso de um modelo de otimização econômica dos recursos hídricos no qual são levados em consideração os objetivos dos setores de geração hidráulica de energia elétrica, da agricultura irrigada, e do abastecimento urbano. Utiliza-se como critério de análise a maximização de uma função de benefício social líquido para obter a melhor alocação desses recursos.

PALAVRAS CHAVE: Modelagem dos recursos hídricos ao nível de bacia, Irrigação, Geração de energia elétrica, Abastecimento de água.

Abstract.

This paper approaches the question of optimal inter-sectoral allocation of water resources at the basin level, taking as a reference the Formoso basin, in the State of Bahia. In this approach, an economic optimization model of the water resources is formulated in which takes into account the sectoral objectives of the hydropower, irrigation and urban water supply. The criterion of analysis is the maximization of a net benefit social function to get the best allocation of the water resources.

KEY WORDS: Modeling water resources at the basin level, Irrigation, Power electricity generation, Water supply.

JEL classification: C60, C61, O12, O13, O21, L95, Q25, Q40

A água constitui um bem essencial à vida, assim como um precioso insumo para diversas atividades econômicas. Embora mais de dois terços da superfície do globo terrestre seja coberta pelas águas dos mares e oceanos, a situação desse recurso em nosso planeta está longe da abundância que sugere a imagem do "planeta água". É que, do ponto de vista social, a noção de recursos hídricos só se aplica às águas doces, pois somente elas são utilizáveis para a maior parte das necessidades humanas, sendo que dificuldades técnicas e custos financeiros elevados impedem, atualmente, a dessalinização em grande escala. Desta forma, apesar da água doce ser um recurso natural renovável, ela vem se tornando um bem cada vez mais escasso e valioso e se medidas urgentes não forem tomadas, a escassez desses recursos pode criar conflitos irremediáveis pelo uso e comprometer o desenvolvimento sustentável de certas regiões.

Este estudo se insere no contexto da busca pela melhor utilização conjunta dos recursos hídricos e do recente debate que se estabeleceu sobre a atual política de alocação dos recursos hídricos em sistemas de bacia hidrográfica, onde já existem algumas contribuições importantes (Carriera-Fernandez e Ferreira, 2002). Tentando aprofundar um pouco mais o conhecimento a respeito dessas e de outras questões correlatas, este trabalho examina a melhor alocação dos recursos da água na bacia do rio Formoso, no Oeste baiano tendo como critério de análise, a maximização de uma função de benefício social líquido. O modelo utilizado neste estudo segue as diretrizes daquele apresentado em (McKinney, Cai, Rosegrant, Ringler, and Scott, 1999), mas amplia o escopo da análise para incluir importantes questões locais e regionais que ainda não foram devidamente analisadas. Nessa abordagem, faz-se uso de um modelo de otimização dos recursos hídricos no qual são levadas em consideração os objetivos dos setores de geração hidráulica de energia elétrica, da agricultura irrigada, e do abastecimento urbano que são, na atualidade, grandes competidores pelo uso da água em sistemas hídricos.

Além dessa introdução, este trabalho está estruturado em mais cinco seções. Na segunda seção aborda-se a importância de uma gestão coordenada dos recursos hídricos com a integração de todos os setores usuários, bem como analisa-se os mais importantes princípios e instrumentos de gestão à disposição da instituição gestora dos recursos hídricos. A seção seguinte contém uma breve análise do gerenciamento integrado ao nível de bacia hidrográfica. Na terceira seção, elabora-se uma caracterização da bacia do rio Formoso, apresentando suas características principais para os objetivos de análise

deste trabalho. Na quarta seção desenvolve-se um modelo de otimização econômica que leva em consideração a interação entre os usuários competidores pelo uso dos recursos hídricos na bacia em questão, que são a geração de energia elétrica, a agricultura irrigada e o abastecimento urbano. Nesse modelo, leva-se em consideração o fato de o setor de abastecimento público ter prioridade de uso sobre qualquer outro setor usuário dos recursos hídricos. Em seguida, determina-se a solução do modelo com a obtenção dos pontos ótimos e o valor máximo da função de benefício social líquido. A última seção contém as conclusões e considerações finais deste trabalho, esperando que o mesmo possa contribuir para subsidiar as políticas públicas de gestão dos recursos da água no país objetivando a implementação de instrumentos para uma alocação eficiente desses recursos na economia.

2 A Gestão dos Recursos Hídricos

A gestão do poder público através das instituições gestoras dos recursos hídricos é geralmente justificada nos casos onde a demanda revelada e a oferta não são capazes de contabilizar ou internalizar os verdadeiros custos e benefícios sociais (ou contabilizam apenas parte desses custos e benefícios). Este é o caso específico dos recursos da água em sistemas hídricos, os quais se apresentam com fortes características de bem público, além de serem suscetíveis a efeitos externos tecnológicos no consumo e na produção. Para este fato, a gestão pública pode ser necessária tanto para internalizar esses custos e benefícios sociais assegurando um nível socialmente ótimo de produção e consumo, quanto para corrigir distorções não-desejáveis na alocação desses recursos.

O gerenciamento integrado dos recursos hídricos é justificado sempre que existir a possibilidade de disputas e conflitos pelo uso da água, como forma de garantir os direitos individuais de cada usuário. Entretanto, para que a gestão crie condições de melhorar a alocação dos recursos da água e os conflitos sejam minimizados ou mitigados é necessário que sejam estabelecidos certos princípios e sejam criados instrumentos, os quais permitam assegurar um tratamento simétrico a todos os seus usuários, dando-se o predomínio sobre o uso da água àquele setor que comprovadamente obtiver o maior benefício social líquido.

Na gestão dos recursos hídricos, costuma-se levar em conta, primordialmente, o aspecto quantitativo relacionado ao uso da água. As vazões de retirada, ou de reserva de

água para uso não consuntivo¹ e seus reflexos sobre o balanço hídrico dos diversos corpos d'água costumam ser o objeto dos maiores cuidados do administrador do uso da água. No entanto, não se pode dissociar os aspectos quantitativos e qualitativos na gestão dos recursos hídricos sobretudo porque, as águas quando contaminadas, não podem ser consideradas como parte das disponibilidades para a maioria dos usos. Sendo assim, a gestão dos recursos hídricos implica, necessariamente, alguns cuidados e ações que estão abrigados, institucionalmente, no campo do gerenciamento ambiental.

Entretanto, o setor público brasileiro está organizado de sorte tal que a gestão dos recursos hídricos está prevista em dois corpos institucionais distintos: a entidade ou órgão gestor propriamente dito; e a entidade ou órgão de gestão ambiental. Mas é forçoso reconhecer que a fronteira entre a gestão da qualidade e a gestão da quantidade da água não é muito nítida, fazendo com que os profissionais dedicados ao campo dos recursos hídricos estejam em permanente conexão com aqueles da área ambiental.²

Os princípios de descentralização, participação e integração constituem a base e a espinha dorsal da gestão de recursos hídricos e apontam para uma nova e moderna forma de gestão desses recursos naturais e do próprio Estado. Com a promulgação da Lei nº 9.433, no ano de 1997, inicia-se uma nova política brasileira para os recursos hídricos, onde todos os agentes envolvidos na atividade de gerenciamento desses recursos começaram a gozar da necessária legitimidade para prosseguir em seus respectivos cursos de ação. Entre as diversas características dessa nova lei, existe uma de essencial importância que é a singularidade em sintetizar os princípios fundamentais do setor, criando os instrumentos de gestão do uso dos recursos hídricos e estabelecendo um arranjo institucional objetivando garantir o igual direito de uso a todos os usuários dos recursos hídricos.

Entre os princípios balizadores do novo arranjo setorial dos recursos hídricos no Brasil destacam-se: (i) a adoção da bacia hidrográfica como unidade físico-territorial de planejamento; (ii) princípio dos usos múltiplos da água, no qual os recursos hídricos devem estar disponíveis em igualdade de oportunidades, para todos os usuários interessados em seu uso, dando prioridade em cada bacia ao uso que gerar os maiores benefícios sociais líquidos; (iii) o reconhecimento da água como bem econômico, devido à sua escassez na natureza; e (iv) a gestão descentralizada, participativa e integrada do uso da água. Todos esses princípios estão contidos na nova política nacional para o setor de recursos hídricos.

Consoante esses princípios, foram criados instrumentos para o gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos. Dentre esses instrumentos, destacam-se: i) os planos de recursos hídricos, que são planos diretores visando fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento desses recursos; ii) o enquadramento dos corpos de água em classes de uso preponderantes, que tem como objetivo assegurar às águas qualidade de acordo com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição através de medidas preventivas permanentes; (iii) a outorga de direitos de usos da água, que visa garantir o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo direito de acesso a esse recurso a todos os seus usuários; (iv) o sistema de informações em recursos hídricos, mecanismo que disponibiliza dados, informações e índices de interesse para os recursos hídricos, servindo como instrumento para a tomada de decisão em planos e ações no setor; e (v) a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, que permite reconhecer a água como um bem econômico, incentivar a racionalização do seu uso e obter recursos financeiros para o financiamento de programas de ações, obras e intervenções contempladas nos planos de recursos hídricos.

O conjunto desses princípios e instrumentos é capaz de exercer uma grande influência em quase todo o universo de gerenciamento e planejamento dos usos da água. Mas, isso exigirá das instituições envolvidas um trabalho coordenado, sinérgico e encadeado, com a participação dos múltiplos atores e usuários da água no país. Além disso, e objetivando a implementação desses instrumentos, um novo arranjo institucional para o setor de recursos hídricos com a criação da Agência Nacional de Águas (ANA) e de instituições como o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (instância composta por representantes dos ministérios e secretarias da Presidência da República, além de abrigar representantes das organizações civis de recursos hídricos), os comitês de bacia hidrográfica (fóruns de discussão e de decisão sobre projetos, intervenções e programas a serem implementados na bacia hidrográfica) e as agências de água.

3 Gerenciamento Integrado dos Recursos Hídricos ao Nível de Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica tem sido reconhecida como a unidade de análise apropriada para o gerenciamento dos recursos hídricos, e a modelagem nesta escala pode fornecer

informações essenciais para *policy makers* em suas decisões de alocação dos recursos hídricos. Um sistema de bacia hidrográfica pode ser entendido com um sistema composto de três principais componentes: 1) componentes de fonte (rios, canais, aquíferos); 2) componentes de demanda *off-stream* (usos agrícolas, industriais, municipais) de demanda *in-stream* (hidroeletricidade, recreação, navegação); e 3) componentes intermediários (tratamento e reciclagem). A bacia hidrográfica pode ser caracterizada não somente por processos naturais e físicos, mas também por projetos e políticas de gerenciamento. As relações essenciais dentro de cada componente da bacia e as inter-relações entre esses componentes podem ser considerados em uma estrutura de modelagem integrada.

O gerenciamento integrado deve ser a abordagem principal para endereçar recursos hídricos sustentáveis. É ao nível da bacia que as decisões de alocação têm implicações econômicas mais abrangentes. Neste nível, as relações hidrológicas, agrônômicas e econômicas podem ser integradas em uma estrutura de modelagem mais ampla possibilitando a criação e aplicação de instrumentos de política que objetivem o uso econômico e racional dos recursos hídricos. A bacia hidrográfica tem sido adotada como a unidade apropriada de análise para o gerenciamento dos recursos hídricos e foi reconhecida pela Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento e o Meio Ambiente — UNCED como a unidade de análise para o gerenciamento integrado dos recursos hídricos - Agenda 21, capítulo 18. As atividades sugeridas nesse capítulo incluem o “desenvolvimento de banco de dados interativos, modelos de previsão, modelos de planejamento econômico e métodos para gerenciamento e planejamento da água” e a otimização da alocação dos recursos hídricos sobre restrições físicas e socioeconômicas UNCED (1998).

Segundo McKinney, Cai, Rosegrant, Ringler, and Scott (1999) as duas principais abordagens para modelagem ao nível de bacia hidrográfica são: i) simulação — para simular o comportamento dos recursos hídricos baseado em um conjunto de regras regendo alocações da água e operação de infra-estrutura e ii) otimização — para otimizar alocações baseado em uma função objetivo sujeita a restrições. Os modelos de simulação são os preferidos para avaliar as repostas de um sistema de recursos hídricos a condições extremas e de não-equilíbrio como, por exemplo, secas. Esses modelos identificam os componentes do sistema mais propensos a falhas e avaliam o desempenho desse sistema em relação a um conjunto de critérios de sustentabilidade. O campo dos modelos de simulação de bacias hidrográficas podem ser classificados em: a) modelos de simulação

de fluxo; b) modelos de simulação de qualidade da água; c) modelos de simulação de direitos de uso da água; e d) modelos de simulação amplos. Já o campo dos modelos de otimização podem ser classificados em: a) hidrológica-inferidos (*hydrology-inferred*); e b) baseado em critérios econômicos de alocação ótima da água. Como será visto na seção 5, este artigo desenvolve um modelo de otimização econômica que está inserido nesta última classificação de análise.

4 Caracterização Da Bacia Do Rio Formoso

A bacia hidrográfica do rio Formoso faz parte da Bacia do Médio São Francisco (UP-17.3) e está localizada na margem esquerda do rio São Francisco, que é formada pelos rios Carinhanha e Coirente, do qual o rio Formoso é um afluente. Essa bacia ocupa uma área de quase 13 mil Km² e apresenta uma rede de drenagem bastante densa, composta de cursos perenes d'água, com significativo potencial hídrico. A rede hidrográfica principal da bacia é constituída pelo rio Formoso, pelos rios Pratudão, Pratudinho, principais afluentes pela margem esquerda, e pelo riacho do Yau, no curso superior do rio Formoso. Essa bacia encontra-se inserida em uma região de clima quente, úmido a subúmido, e alguns municípios da mesma apresentam riscos de ocorrência de secas. Em termos pedológicos, a bacia do rio Formoso apresenta solos predominantemente arenosos, contendo baixíssimos teores de materiais argilosos, com alta taxa de infiltração, o que faz com que o regime fluvial seja bem regularizado através da descarga de base, configurando um regime afluente.

Além de sua utilização natural e prioritária para abastecimento humano e animal, a bacia do rio Formoso apresenta condições propícias para o aproveitamento de seus recursos hídricos, tanto para a geração de energia elétrica quanto para a expansão da agricultura irrigada. Dentre os aproveitamentos hidroelétricos potenciais já identificados, o de Sacos e o de Gatos I mostraram-se, sob o ponto de vista privado, os mais economicamente viáveis³. Quanto às perspectivas de expansão da área agrícola de irrigação na região da bacia do rio Formoso, merece destaque a cafeicultura (do tipo arábica), cuja produção está prevista ser totalmente voltada para exportação. Essa produção aproveitará as condições conjunturais favoráveis do café no mercado internacional, que experimenta, nesse mercado, preços favoráveis e estáveis.

Deve-se ressaltar, que o aproveitamento hidrelétrico de Gatos I permite garantir à

Caríbia Metais, importante empresa mineral do Estado, o atendimento de suas necessidades energéticas, além de propiciar à região de Formoso melhores condições de desenvolvimento, dada a atual restrição de demanda por energia elétrica que a região enfrenta. Ademais, o aproveitamento hidrelétrico de Sacos contribuirá para expandir a oferta do sistema elétrico do Estado, pois está prevista a sua interligação ao sistema elétrico da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF)/Companhia de Energia Elétrica da Bahia (COELBA), nas subestações de Carranca e Correntina, através da construção de uma linha de transmissão de 138 kV.

Além das culturas tradicionais, tais como milho e feijão, atualmente cultivados nas áreas de influência dos reservatórios de Sacos e Gatos I, merecem destaque as perspectivas de expansão da cafeicultura na região de cerrado, ao longo dos rios Formoso, Pratudão e Pratudinho. A possível expansão da cafeicultura na região é consequência direta das condições climáticas favoráveis da região de cerrado, bem como pela qualidade do produto, o café arábica, tipo exportação, que está sendo adotado para cultivo na área de influência da bacia. Além do mais, as modernas técnicas de irrigação propiciam uma grande produtividade desse produto na região. Some-se a isso, o fato de que o café arábica vem apresentando boas condições no cenário internacional, experimentando preços favoráveis e relativamente estáveis, o que garante a seus produtores baixo risco e altas taxas de retorno.

A região do Formoso é carente de energia elétrica, o que contribui para restringir a perspectiva de desenvolvimento da sua cafeicultura, nas áreas ribeirinhas de cerrados. Ademais, os riscos iminentes no suprimento de energia elétrica para essa região, que já se verificam desde o final do século XX, reforçam ainda mais a adoção de um cenário de utilização dos recursos hídricos para produção conjunta de energia elétrica e produtos agrícolas de irrigação.

No entanto, a geração de energia elétrica e a expansão da produção agrícola de irrigação geram fortes pressões sob a base dos recursos hídricos da bacia do rio Formoso, principalmente porque a irrigação demanda uma grande quantidade de água predominantemente no período mais seco do ano. Estas pressões se agravam na medida que restrições técnicas de vazão ao sistema hídrico da região são impostas pelos dois projetos previstos de geração de energia elétrica. Assim, o crescimento da demanda por água, induzido pelos projetos propostos de irrigação, a montante dos aproveitamentos hidroenergéticos, estabelecem possibilidades claras para a ocorrência de conflitos entre usuá-

rios múltiplos; além do que, criam, para a própria Secretaria de Recursos Hídricos do Governo do Estado da Bahia — SRH/BA, problemas de gerenciamento dos recursos hídricos nessa região.

4.1 POTENCIAL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A bacia do rio Formoso dispõe de condições hidrológicas e topográficas favoráveis à produção de eletricidade. A geração hidráulica de energia elétrica pode ser concretizada através da exploração conjunta dos aproveitamentos hidrelétricos de Sacos, Gatos I e Gatos III⁴. A máxima potência instalada prevista para geração de energia elétrica nessas três unidades seria de aproximadamente 143mW, dos quais 90mW seriam provenientes da usina de Sacos, 33mW da unidade de Gatos I e 20mW do aproveitamento de Gatos III. Com base na configuração do sistema hídrico da bacia do rio Formoso, a unidade hidrelétrica marginal, em termos de demanda de água para geração de energia elétrica, seria a usina de Sacos, a qual demandaria uma vazão de 90 m³/s⁵.

Estudos hidrológicos mais recentes dão conta de que a estimativa de vazão de 90 m³/s para o aproveitamento marginal de Sacos está super dimensionada. Deve-se registrar que essa estimativa foi oriunda das séries históricas disponibilizadas pela ELETROBRÁS (1995), as quais foram obtidas por transposição de vazões de um posto hidrológico próximo, mas não localizado exatamente no local previsto para instalação do referido aproveitamento hidrelétrico. Dessa forma, adotou-se a vazão mais conservadora de 85 m³/s, que efetivamente seria demandada para a máxima produção de energia elétrica na usina de Sacos⁶.

É importante ressaltar que, ao se admitir um cenário prioritário dos recursos hídricos à geração de energia elétrica — o que significaria não comprometer a vazão de 85 m³/s requerida para máxima geração de energia elétrica —, a máxima área que poderia ser destinada à agricultura irrigada estaria limitada a 5.000 ha (Carraero-Fernandez, 2000a). Nessa estimativa, o perímetro irrigado estaria restrito à própria área de influência do reservatório de Sacos, a montante do ponto de geração de energia elétrica, o qual poderia ser viabilizado através de captações diretas do próprio reservatório de regularização da usina de Sacos.

Deve-se registrar que a tarifa utilizada para avaliação dos benefícios (receita) foi a tarifa média de suprimento de energia elétrica do sistema ELETROBRÁS para a região Norte/Nordeste, cujo valor é de R\$ 72,35 por mWh.

Na TABELA 1, constam os custos de implantação, a amortização do investimento (considerando-se a taxa privada de desconto de 12% a.a. e um horizonte de 30 anos) e os custos de operação e manutenção das usinas hidrelétricas de Gatos I, Gatos III e Sacos. Estes dados foram baseados nos estudos elaborados pela PROMON, em 1995, para a Carriça Metais, bem como os custos de implantação da usina hidrelétrica de Sacos, tomando-se por base os estudos de 1998 da PCE ENGENHARIA, corrigidos com base no IGP-DI de 49,07%. Os custos de operação e manutenção das três usinas hidrelétricas consideradas neste estudo foram avaliadas tomando-se por base o percentual usualmente adotado de 1,5% do valor presente do investimento total necessário para implementar esses aproveitamentos hidrelétricos.

TABELA 1
CUSTOS DIRETOS PRIVADOS DE IMPLANTAÇÃO E AMORTIZAÇÃO DO
INVESTIMENTO DAS USINAS DE GATOS I, GATOS III E SACOS (EM R\$ 1.000)

Discriminação	Gatos I	Gatos III	Sacos	Total
1. Obras civis	14.160,66	23.927,99	127.740,98	165.829,63
5. Equipamentos	23.264,86	20.883,84	50.716,62	94.865,32
1. Eventuais	5.613,87	3.502,69	15.175,95	24.292,51
2. Custo financeiro	6.204,06	7.427,80	36.479,67	50.111,53
3. Outros	8.661,67	10.369,95	37.250,00	56.281,62
Total dos investimentos	57.905,13	66.107,28	267.363,22	391.375,62
Amortização do investimento	6.394,69	7.300,49	29.525,98	43.221,17
Custo de operação / manutenção	868,58	991,61	4.010,45	5.870,63

FONTE: Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação da Bahia.

4.2 POTENCIAL DE EXPANSÃO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA DE IRRIGAÇÃO

Conforme mencionado anteriormente, a produção agrícola de irrigação na bacia do rio Formoso tem um grande potencial de crescimento, podendo ser viabilizada através da concretização da área irrigada em cerca de 35.000 ha, que seria distribuída ao longo de toda a região, da seguinte forma:

- 5.000 ha a montante dos barramentos de Sacos e Gatos I;
- 15.000 ha ao longo dos rios Formoso, Pratudão e Pratudinho, com custos relativamente baixos de recalque (isto é, até 3.000 m de distância de recalque); e

15.000 ha ao longo desses mesmos rios, mas com custos de recalque relativamente mais altos (isto é, com distâncias de recalque variando entre 3.000 e 5.000 m).

A TABELA 2 mostra o rendimento médio e o preço médio dos principais produtos agrícolas de irrigação a serem cultivados na região da bacia do rio Formoso. O rendimento médio foi obtido através de dados do Instituto de Terras da Bahia — INTERBA, bem como a partir de informações fornecidas pela Associação de Irrigantes da Bahia — AIBA. O preço médio de cada cultura foi obtido através da análise das séries históricas dos preços desses produtos, com informações da Bolsa de Mercadorias e de Futuros — BMF e da Gazeta Mercantil.

TABELA 2:
RENDIMENTO E PREÇO MÉDIOS DAS PRINCIPAIS
CULTURAS IRRIGADAS PROJETADAS PARA A BACIA DO RIO FORMOSO

1. Cultura	Rendimento médio (t/ha)	Preço médio (R\$/t)
Café arábica	3,6	2.000
Milho	7,2	200
Feijão	2,5	650

Fonte: AIBA, INTERBA, BMF e Gazeta Mercantil.

As projeções de expansão da produção agrícola na região da bacia do rio Formoso são feitas com base nas seguintes hipóteses: (i) Na área de influência o montante do reservatório de Sacos, as culturas mais importantes a serem cultivadas seriam o milho e o feijão, cujas proporções em termos de áreas a serem irrigadas foram estimadas em 55% para a cultura do milho e 45% para o plantio de feijão; (ii) Para as outras áreas de serrados, ribeirinhas aos rios Formoso, Pratudão e Pratudinho, admitiu-se que a principal cultura a ser irrigada seria o café arábica.

A TABELA 3 mostra o custo médio de produção das principais culturas irrigadas na região, que além de incluir todos os componentes do custo variável médio (insumos, mão-de-obra, mecanização e irrigação), inclui também o custo de oportunidade da terra e os custos financeiros associados com a produção. Esses valores foram estimados com base nas seguintes hipóteses: (i) o custo de

oportunidade do terra é um percentual sobre o custo variável médio de produção, o qual é de aproximadamente 1% para o café (áreas ribeirinhas do cerrado) e 2% para os cultivos de milho e feijão (áreas a montante do reservatório de Sacos); e (ii) o custo financeiro é computado à taxa de 12% a.a. no período da produção, o qual é de aproximadamente 8 meses no ano para o café e 10 meses no ano para o milho e o feijão.

TABELA 3:
CUSTO MÉDIO DE PRODUÇÃO DAS
PRINCIPAIS CULTURAS IRRIGADAS NA BACIA DO RIO FORMOSO (EM R\$/ha)

1 Cultura irrigada	2 Custo variável médio	3 aluguel da terra	4 Custos financeiro	5 Custo médio
6 Café arábica (1)	5.364,00	53,64	429,12	5.846,76
7 (2)	6.243,70	62,431	499,4927	6.805,62
8 Milho	1.430,4	28,608	143,04	1.602,05
9 Feijão	1.639,00	32,78	163,9	1.835,68

Fonte: Corrêa-Fernandez (2000), Associação de Irrigantes do Bahia (AIBA).

(1) Com custo de recalque relativamente mais baixo. (2) Com custo de recalque relativamente mais alto.

Deve-se ressaltar que o custo de produção do café nas terras mais distantes dos leitos dos rios, situadas na faixa entre 3.000 e 5.000 m de afastamento do rio, sofre um acréscimo devido ao aumento do custo de irrigação. Neste caso, os custos de recalque aumentariam de R\$ 5.500/ha, em média, para R\$ 10.000/ha, o que representaria um aumento de quase 82% nesse componente de custo (ou 1,6,4% no custo variável médio, visto que a irrigação representa 20% dessa rubrica). O custo médio de produção dessas culturas irrigadas com custo de recalque relativamente mais alto, é mostrado na segunda linha do QUADRO 3.2.2. Isso posto, pode-se perceber que o custo de produção agrícola irrigada cresce com a área irrigada, mas que em última instância aumenta com a utilização de água. Dessa forma, supõe-se que o custo marginal de produção varia de acordo com a seguinte expressão: $CMg_i^l = c_i^l [1 + \delta(x_i - x_i^*)^3 / x_i^*]$ se $x_i \geq x_i^*$, ou $CMg_i^l = c_i^l$ se $x_i \leq x_i^*$ onde c_i^l é a média do custo marginal de produção da agricultura irrigada¹; $\delta > 0$ é o fator de aumento no custo de irrigação, em função da distância em relação ao manancial, cujo valor estimado é 0,164; e $(x_i - x_i^*)^3 / x_i^*$ é o fator de correção no custo de

irrigação em relação ao nível de utilização da água x_i , considerado de baixo custo de irrigação, em termos de distância de recalque.

Resalte-se que implícito neste cenário de desenvolvimento da agricultura irrigada na região do Formoso estão as seguintes premissas: (i) condições favoráveis de preços dos produtos agrícolas, principalmente o preço internacional do café arábica; (ii) disponibilidade de energia elétrica na região; e (iii) melhoria da infra-estrutura geral da região.

Na hipótese de prioridade na utilização dos recursos hídricos à agricultura irrigada, consideram-se para efeito de geração de energia elétrica os dois aproveitamentos hidrelétricos mais favoráveis, em termos de viabilidade econômica, que são os de Gatos I e Sacos. Nesse caso, as potências instaladas dessas duas usinas deveriam ser reavaliadas para baixo, de modo a compatibilizar a menor disponibilidade hídrica do sistema, que seria agora comandada prioritariamente pela irrigação^B.

Na hipótese de produção conjunta de energia elétrica e produtos agrícolas de irrigação, considera-se que a expansão das fronteiras agrícolas de irrigação ao longo dos rios Formoso, Pratudão e Pratudinho se situariam até o patamar de 3.000 m de afastamento dos leitos dos rios. Conforme mencionado anteriormente, essa faixa é considerada como distância máxima de recalque, estabelecida em função dos custos relativamente baixos de irrigação. Nessa hipótese, a geração de energia elétrica contaria apenas com os aproveitamentos de Gatos I e Sacos, que deveria sofrer uma pequena redução nas suas respectivas capacidades previstas de geração, relativamente àquelas capacidades projetadas nos estudos mais recentes.

4.3 DEMANDAS POR ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO E GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Com base nessas hipóteses, podem ser estabelecidos três cenários possíveis de utilização dos recursos da água na referida bacia hidrográfica, que são: (i) prioridade à geração de energia elétrica, (ii) prioridade à agricultura irrigada, e (iii) produção conjunta. A TABELA 4 contém as demandas por água para geração de energia elétrica e irrigação na bacia do rio Formoso em cada um desses cenários de aproveitamento dos recursos hídricos.

TABELA 4:
DEMANDAS POR ÁGUA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E
IRRIGAÇÃO NOS VÁRIOS CENÁRIOS DE UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Cenários	Geração de energia elétrica		Irrigação	
	Potência Instalada (mW)	Demanda por água ¹ (m ³ /s)	1 Área irrigada (ha)	Demanda por água ² (m ³ /s)
Prioridade à geração de energia elétrica	143	85,0	5.000	5,0
Prioridade à agricultura irrigada	75	55,0	35.000	35,0
Produção conjunta	103	75,0	15.000	15,0

FONTE: Elaboração dos autores

(1) Estabelecida com base na disponibilidade do sistema e na vazão de referência do aproveitamento hidrelétrico marginal de Sacos. (2) Com base no requerimento técnico médio de água para irrigação de longo prazo da ordem de 1 l/s/ha.

5 O Modelo de Otimização Econômica Proposto para a Bacia do Rio Formoso

O modelo apresentado a seguir considera os três maiores setores usuários dos recursos hídricos, que são a geração de energia elétrica, a agricultura irrigada e o abastecimento urbano, os quais interagem competindo pelo uso desses recursos.

5.1 A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A despeito do novo modelo comercial para o setor elétrico⁹ — o qual foi concebido para envolver a iniciativa privada na expansão do setor, assim como promover a inovação tecnológica e a eficiência econômica —, o mercado de energia elétrica ainda continua sendo bastante centralizado. Nesse mercado, o preço é determinado pela própria agência reguladora, em função dos custos das usinas e de parâmetros previamente estabelecidos. Assim, admite-se que a agência reguladora de energia elétrica determina a tarifa de eletricidade, P_e , de modo a maximizar o excedente econômico (ou lucro) do setor, ou seja:

$$\max_{P_e} \pi = P_e y_e - f_e - c_e y_e - 0,0075 P_e y_e = (0,9925 P_e - c_e) y_e - f_e \quad (5.1.1)$$

onde y_e é o nível de produção agregado de energia elétrica (ou seja, $y_e = \sum_k y_e^k$, onde y_e^k é o nível de produção de energia elétrica da geradora k), c_e é o custo marginal de

geração de energia elétrica do setor, f_e^k é o custo fixo de produção e $0,0075P_e y_e^k$ é o valor a ser pago pelo setor de energia elétrica, a título de cobrança pelo uso dos recursos hídricos, de acordo com o estabelecido pela nova legislação brasileira para o setor. Por simplicidade, supõe-se que a demanda por energia elétrica é especificada por:

$$y_e = \alpha_e - P_e \quad (5.1.2)$$

onde α_e é o consumo autônomo de eletricidade, ou seja, é a máxima quantidade que as distribuidoras estariam dispostas a demandar à tarifa zero. Assim, o problema de otimização acima pode ser reescrito da seguinte forma:

$$\max_{P_e} \pi = (0,9925P_e - c_e)(\alpha_e - P_e) - f_e \quad (5.1.3)$$

Donde obtém-se a seguinte tarifa de energia elétrica:

$$P_e^* = 1/2[\alpha_e + c_e/0,9925] \quad (5.1.4)$$

Por simplicidade, supõe-se que as firmas tomam a tarifa de energia elétrica P_e^* como dada e produzem de acordo com a seguinte tecnologia linear:

$$y_e^k = \gamma_e^k x_e^k \quad (5.1.5)$$

onde x_e^k é a quantidade de água utilizada para produção de energia elétrica pela firma k e γ_e^k é o parâmetro de eficiência da geradora k , ou seja, o coeficiente que transforma água em energia elétrica¹⁰. Embora as usinas hidrelétricas sejam fundamentalmente distintas, supõe-se implicitamente que as firmas detêm a mesma tecnologia e a mesma estrutura de custos. Esse fato não representa grande distorção, tendo em vista que qualquer diferença de custo em relação a firma marginal pode ser considerada como uma renda ou quase renda econômica imputada às geradoras mais eficientes.

Nesse contexto, a função de lucro da atividade de geração de energia elétrica pode ser estabelecida da seguinte forma:

$$\pi_e = \sum_k (P_e^* y_e^k - f_e^k - c_e^k y_e^k - 0,0075P_e^* y_e^k) = \sum_k [\gamma_e^k (0,9925P_e^* - c_e^k) x_e^k - f_e^k] \quad (5.1.6)$$

onde c_e^k é o custo marginal (privado) de produção de energia elétrica da firma k , o qual não inclui o pagamento pelo uso da água nessa finalidade, e f_e^k é o seu custo fixo.

5.2 O ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Deve-se lembrar que, de acordo com a legislação brasileira, o abastecimento público de água potável tem prioridade de uso sobre qualquer outro setor usuário dos recursos hídricos. Por simplicidade, supõe-se que a firma típica L de abastecimento público produz água potável com uma tecnologia linear, especificada da seguinte forma:

$$y_a^l = \gamma_a^l x_a^l \quad (5.2.1)$$

onde y_a^l é o nível de produção de água potável da companhia L , x_a^l é a quantidade de água bruta que a empresa L capta do manancial e γ_a^l é o coeficiente técnico (parâmetro de eficiência) da empresa L , que transforma água bruta em água potável¹¹. Supõe-se que as companhias de abastecimento atuam em mercados monopolísticos, enfrentando uma função de demanda linear, a qual é especificada por:

$$y_a^l = \alpha_a^l - P_a^l \quad (5.2.2)$$

onde P_a^l é o preço da água potável praticado pela companhia L e α_a^l é o consumo autônomo de água tratada dessa empresa, ou seja, é a máxima quantidade que os usuários estariam dispostos a consumir ao preço zero.

A função de lucro do setor de abastecimento público é estabelecida da seguinte forma:

$$\pi_a = \sum_l (P_a^l y_a^l - f_a^l - c_a^l y_a^l - p_a^* x_a^l) = \sum_l [(\gamma_a^l (\alpha_a^l - c_a^l) - p_a^*] x_a^l - \gamma_a^{l2} x_a^{l2} - f_a^l \quad (5.2.3)$$

onde c_a^l é o custo marginal (privado) de produção de água potável da companhia L , o qual não inclui o pagamento pelo uso da água¹²; f_a^l é o seu custo fixo; e p_a^* é o preço ótimo pelo uso da água no abastecimento público.

5.3 A AGRICULTURA IRRIGADA

Supõe-se que as firmas operando no setor agrícola de irrigação são competitivas e produzem de acordo com uma tecnologia linear, especificada da seguinte forma:

$$y_j^i = \gamma_j^i x_j^i \quad (5.3.1)$$

onde y_j^i é o nível de produção da cultura j , x_j^i é a quantidade de água bruta utilizada na irrigação dessa cultura e γ_j^i é o parâmetro de eficiência da cultura j , o qual depende

do método de irrigação, do coeficiente de infiltração e do índice de evapotranspiração da região, entre outros.

Supõe-se que o custo marginal de produção do irrigante j é a soma de duas parcelas: uma para todos os irrigantes e a outra para aqueles que expandem a captação de água acima do nível x_i^* . Assim, para níveis de captação $x_i^j \leq x_i^*$, o custo marginal de produção é c_i^j . No entanto, para níveis de captação $x_i^j > x_i^*$, o custo marginal passa a ser $c_i^j[1 + \delta(x_i^j - x_i^*)]^2$, com $\delta > 0$.

Desde que as firmas operando nesse setor são competitivas e, portanto, tomam o preço do produto P_i^j como dado, então a função de lucro da atividade agrícola de irrigação é estabelecida da seguinte forma para $x_i^j > x_i^*$:

$$\pi_i = \sum_j (P_i^j y_i^j - f_i^j - c_i^j [1 + \delta((x_i^j - x_i^*)^2 / x_i^*)] y_i^j) - p_i^* \sum_j x_i^j \quad (5.3.2)$$

ou

$$\pi_i = \sum_j \gamma_i^j [P_i^j - c_i^j (1 + \delta(x_i^j / x_i^*)^2) - p_i^*] x_i^j - \sum_j f_i^j \quad (5.3.3)$$

onde P_i^j é o preço médio do produto agrícola de irrigação j ; c_i^j é o custo marginal (privado) de produção da firma típica j , que não inclui o pagamento pelo uso da água, f_i^j é o seu custo fixo; p_i^* é o preço ótimo pelo uso da água na agricultura irrigada; e x_i^* é o nível de utilização de água para irrigação a baixo custo.

5.4 A SOLUÇÃO

Admite-se que a função primordial da instituição gestora dos recursos hídricos é promover uma interação integrada e cooperativa entre esses três maiores setores usuários. Dessa forma, postula-se que o objetivo do gerenciamento integrado da bacia hidrográfica é otimizar o benefício social líquido, estabelecendo um padrão de utilização dos recursos hídricos em uma perspectiva mais ampla para a sociedade. Isto é, supõe-se que a instituição ou órgão gestor dos recursos da água otimiza uma função de excedente econômico agregado, a qual engloba os lucros conjuntos dos setores usuários, sem estabelecer, *a priori*, qualquer preferência sobre a utilização dos recursos hídricos, em conformidade com o importante princípio dos usos múltiplos.

É importante lembrar que a demanda por água para abastecimento x_i^* deverá ser garantida em cada sistema hídrico, tendo em vista que essa modalidade de uso tem prioridade sobre qualquer outra utilização que se dê a esse recurso. Isso significa que a

vazão remanescente, a ser repartida entre os setores de geração de energia elétrica e irrigação, deverá satisfazer a seguinte condição:

$$\sum_j x_i^j + \sum_k x_e^k \leq x - x_a^* \quad (5.4.1)$$

Tomando a restrição de vazão (5.4.1), o preço pelo uso da água para irrigação p_i^* , o preço dos produtos agrícolas de irrigação P_i^j e a tarifa de energia elétrica P_e^* como dados, então o objetivo é determinar os níveis ótimos de utilização dos recursos hídricos para essas finalidades de uso de modo a maximizar os lucros conjuntos desses dois setores usuários, ou seja:

$$\text{Se } x_i^j \geq x_i'$$

$$\max \pi = \pi_i + \pi_e = \sum_j [\gamma_i^j [P_i^j - c_i^j (1 - \delta + \delta(x_i^j/x_i')^2)] - p_i^*] x_i^j - \sum_j f_i^j + \sum_k [\gamma_e^k (0,9925 P_e^* - c_e^k) x_e^k - f_e^k]$$

$$\begin{aligned} & x_i, x_e \\ \text{s.a. } & \sum_j x_i^j + \sum_k x_e^k \leq x_0 \\ & \sum_j x_i^j, \sum_k x_e^k \geq 0 \end{aligned} \quad (5.4.2)$$

$$\text{Se } x_i^j = x_i'$$

$$\max \pi = \pi_i + \pi_e = \sum_j [\gamma_i^j [P_i^j - c_i^j] - p_i^*] x_i^j - \sum_j f_i^j + \sum_k [\gamma_e^k (0,9925 P_e^* - c_e^k) x_e^k - f_e^k]$$

$$\begin{aligned} & x_i, x_e \\ \text{s.a. } & \sum_j x_i^j + \sum_k x_e^k \leq x_0 \\ & \sum_j x_i^j, \sum_k x_e^k \geq 0 \end{aligned} \quad (5.4.3)$$

Para a resolução deste problema de programação não linear multidimensional utilizamos o pacote computacional GAMS - General Algebraic Modelling Systems. Aplicamos o Solver MINOS que se utiliza do algoritmo do Gradiente Reduzido combinado com um algoritmo Quase-Newton.

Devido às características não lineares, a função benefício social líquido π , apresenta vários pontos de ótimos locais, dentro do domínio viável determinado pelas restrições do problema. Esta dificuldade foi superada, resolvendo-se o problema diversas vezes, partindo cada vez de um ponto inicial diferente e considerando o ótimo global a solução que apresentou o maior valor obtido para a função objetivo.

A solução desse problema de otimização estabelece a alocação ótima dos recursos

Faculdade de Ciências Econômicas - UFPA

Biblioteca

Nº _____ Data ____/____/____

Tombamento Patrimonial

hídricos na referida bacia entre os setores usuários. Obteve-se a melhor alocação dos recursos entre esses setores, nos pontos: x_i (café) = 19,7; x_i (milho) = 0,0; x_i (feijão) = 1,5; e x_e = 68,8. Essa alocação ótima da água internaliza os efeitos externos de cada setor usuário e maximiza o lucro agregado desses setores, o qual foi igual a R\$ 58.048.491,45.

Os parâmetros utilizados nessa avaliação foram avaliados com base nas informações preliminares levantadas na quarta seção e são: $\gamma_i = 1,209 \times 10^{-4}$ [ton/m³], o qual foi obtido tomando-se a produção total anual dos três cultivares produzidos na bacia com nível de utilização dos recursos hídricos à razão de 35 m³/s; $\gamma_e = 4,41 \times 10^4$ [mWh/m³], resultante da quociente da geração total nas três hidrelétricas planejadas para a bacia (143 mWh), em um intervalo de uma hora, pelo requerimento técnico de água nessa geração (90 m³/s); P_i (café) = 2.000 [R\$/ton], P_i (milho) = 200 e P_i (feijão) = 650 [R\$/ton], que são os preços médios de mercado dos cultivares, $P_e^* = 72,35$ [R\$/mWh], com base no Valor Normativo estabelecido para a tarifa de geração no país; c_i (café) = 1.300 [R\$/ton], c_i (milho) = 130 [R\$/ton], c_i (feijão) = 422,5 [R\$/ton] que são os custos marginais de irrigação dos cultivares; $c_e = 14,47$ [R\$/mWh], que foi estimado com base no custo marginal de curto prazo — correspondente a 2% do Valor Normativo da geração de energia elétrica no país; $p_i^* = 0,002$ [R\$/m³], que é o preço ótimo médio pelo uso da água na irrigação no estado da Bahia (Carrera-Fernandez, 2002); $x_i' = 20$ [m³/s], definido pelo limite acima do qual os custos com a irrigação aumentam consideravelmente.

6 Conclusões e Considerações Finais

Com a finalidade de subsidiar as políticas públicas de gestão dos recursos hídricos, este artigo desenvolveu uma análise de otimização econômica, a partir das alternativas de utilização dos recursos hídricos que se apresentavam na bacia hidrográfica do rio Formoso, no Estado da Bahia. Nesta análise, o processo de alocação para os setores usuários foi obtido buscando-se determinar a melhor alocação do ponto de vista da maximização do benefício social líquido.

Espera-se que esta análise possa contribuir para incentivar a abordagem do gerenciamento integrado dos recursos hídricos no país, na medida em que orienta ações públicas e privadas no sentido de otimizar a utilização e alocação dos recursos hídricos na economia. Ademais, espera-se que este trabalho possa também servir de subsídio para

novos esforços de modelagem futuras em escala de bacia hidrográfica com a incorporação de novos parâmetros de análise.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BAUMOL, W.; BRADFORD, D. Optimal departures from marginal cost pricing. *American Economic Review*, v. 60, 1970.

BROOKE, A.; D. Kendrick; et al. (1988). *GAMS: A User's Guide*. Redwood, CA, The Scientific Press.

CARRERA-FERNANDEZ, José. O princípio dos usos múltiplos dos recursos hídricos: uma análise a partir da bacia do rio Formoso no oeste baiano. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 30, n. especial, p. 810-835, 2.000a.

CARRERA-FERNANDEZ, José. Cobrança pelo uso da água em sistemas de bacias hidrográficas: o caso da bacia do rio Pirapama, em Pernambuco. *Economia Aplicada*. São Paulo: v.4, n.3, 2000b.

CARRERA-FERNANDEZ, José. O custo social da energia elétrica: uma análise a partir da bacia hidrográfica do rio São Francisco. *Economia Aplicada*. São Paulo: v. 5, n.4, 2001.

CARRERA-FERNANDEZ, José; GARRIDO, Raymundo-José. O instrumento de cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas: uma análise dos estudos no Brasil. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 30, n. especial, p. 604-628, 2.000a.

CARRERA-FERNANDEZ, José; GARRIDO, Raymundo-José. O instrumento de cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas: teorias e metodologias. *Economia*, v.2, n.2. Campinas, 2000b.

CARRERA-FERNANDEZ, José; GARRIDO, Raymundo-José. *Economia dos recursos hídricos*. Salvador: EDUFBA, 2002.

CARRERA-FERNANDEZ, José; FERREIRA, M. Paulo. Otimização dos Recursos Hídricos em Sistemas de Bacia Hidrográfica: O caso da Bacia do Rio Formoso, no Bahia. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 33, n. 3, p. 536-553, jul-set 2002.

ELETROBRÁS. *Plano decenal de expansão: 1996 - 2005*. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1995.

GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA. *Estudo de planejamento de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Formoso*. Salvador: Superintendência de Recursos Hídricos (SRH), 1998.

MAS-COLELL, Andreu; WHINSTON, M. D.; GREEN, J. R. *Microeconomic Theory*. New York: Oxford University Press, 1995.

ROSEGRANT, M. W.; RINGLER, C.; MCKINNEY, D. C.; CAI, X.; KELLER A.; DONOSO G. Integrated Economic-hydrologic water modeling at the basin scale: the Maipo river basin. *Environment and Production Technology Division - EPTD Discussion Paper n. 63*. International Food Policy research Institute. New York: June, 2000.

ROSEGRANT, M. W.; RINGLER, C.; MCKINNEY, D. C.; CAI, X.; RINGLER C.; SCOTT, A. C. Modeling Water Resources Management at the Basin Level: Review and Future Directions. *System-Wide Initiative on Water Management*. International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka: 1999.

UNCED — United Nations Conference on Environment and Development. *Agenda 21, Chapter 18. Final advanced version*. 1998

—Notas.

¹ Uso em que não há perdas entre o volume derivado e o volume que retorna aos mananciais superficiais através do lançamento das águas servidas ou residuárias.

² São poucos os Estados Brasileiros que estruturaram a gestão dos recursos hídricos no corpo da hierarquia da gestão ambiental. É o caso, por exemplo, de Mato Grosso, onde a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEMA) também se ocupa da gestão dos recursos hídricos. A maioria dos Estados atua por meio de instituições distintas, uma para a gestão ambiental e outra para a gestão do uso dos mananciais. A própria União atua através do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) e da Agência Nacional de Água (ANA), para questões ambientais e de água, respectivamente.

³ Os estudos hidrológicos mostram que a vazão média de longo prazo da bacia do rio Formoso é de aproximadamente 82 m³/s na localidade de Gatos I e quase 99 m³/s em Sacos, os dois principais pontos de aproveitamentos hidro-energéticos.

⁴ Estudos efetuados pela Caraiíba Metais/PROMON (1995) dão conta de que o aproveitamento de Gatos III, o menor dos três aproveitamentos, pode ser viabilizado através da revisão dos estudos preliminares da construção da barragem de regularização no eixo A. Nessa alternativa, poderia-se vislumbrar uma altura mais apropriada que aquela especificada em estudos anteriores, ou até mesmo operacionalizar essa usina através da construção de uma barragem (a fio d'água) no eixo B.

⁵ A unidade marginal de geração é aquela que comanda o sistema hídrico a montante, em termos de restrição de vazão, ficando garantida a demanda por água de todos os demais aproveitamentos e usos.

⁶ Como consequência dessa superestimativa de vazão haverá uma pequena redução na geração de energia firme (em torno de 5%), sem comprometer a potência instalada prevista no aproveitamento de Sacos, que é de 90mW.

⁷ Avaliado em relação aos três cultivos que serão produzidos na área da bacia, ou seja, café, feijão e milho.

⁸ Vale lembrar que no dimensionamento da capacidade instalada dos aproveitamentos hidrelétricos, em função da disponibilidade hídrica do sistema, está sendo implicitamente suposto uma relação linear. No entanto, para um dimensionamento mais preciso, deveriam ser elaborados estudos hidro-energéticos mais detalhados. Ressalta-se, que as usinas hidrelétricas de Gatos I e Sacos deveriam sofrer reduções nas respectivas potências para não exigirem do sistema uma vazão maior do que aquela disponibilizada pela agricultura irrigada (ou seja, 45 m³/s). Neste sentido, a demanda por água dessas hidrelétricas passariam a ser marginais em relação à capacidade hídrica do sistema.

⁹ De acordo com a Lei nº 9.648/98 e o Decreto nº 2.655/98, que a regulamenta.

¹⁰ Estima-se que para produzir cada kWh de energia elétrica, as hidrelétricas na bacia hidrográfica do rio São Francisco necessitam, em média, de uma vazão correspondente a 3,45 m³/s. Isso significa que o parâmetro γ está em torno de 0,274.

¹¹ As perdas de água no abastecimento público no Brasil correspondem a 33%, em média, mas em alguns casos podem até ultrapassar os 50%. Isso significa que o parâmetro γ está em torno de 0,67.

¹² O termo $[c^i + (p^*/g_a^i)]$ corresponde ao custo marginal social de produção de água potável da companhia i .

