

# **Otimização dos Recursos Hídricos em Sistemas de Bacia Hidrográfica: O Caso da Bacia do Rio Formoso, na Bahia<sup>1</sup>**

**José Carrera Fernandez**

\* *Professor do Curso de Mestrado em Economia da Universidade Federal da Bahia*

\* *PhD em Economia pela The University of Chicago.*

**Paulo Moraes Ferreira**

\* *Engenheiro Civil*

\* *Mestrando em Economia pela Universidade Federal da Bahia*

---

## **Resumo**

Este artigo aborda a questão da alocação conjunta dos recursos hídricos em sistemas de bacia hidrográfica, tomando-se como referência a bacia do rio Formoso, no Estado da Bahia. A melhor alocação dos recursos hídricos disponíveis em um sistema de bacia pode ser obtida através da solução de um problema de otimização no qual os objetivos conjuntos de todos os setores usuários são levados em consideração. A solução desse problema gera uma repartição dos recursos da água de modo a igualar-se o benefício marginal líquido entre os vários setores usuários, em conformidade com o importante princípio dos usos múltiplos dos recursos hídricos. Finalmente, chama a atenção para a necessidade da conjugação de esforços no sentido de se promover o princípio dos usos múltiplos dos recursos da água, por meio de uma gestão intersetorial simétrica e harmoniosa, que leve em consideração não apenas os objetivos individuais de cada setor, mas principalmente os objetivos mais amplos de toda a sociedade.

---

## **Palavras-chave:**

Recursos hídricos-usos múltiplos, Recursos hídricos-alocação, Abastecimento de água, Irrigação, Geração de energia elétrica, Cobrança pelo uso da água.

---

<sup>1</sup> Laureado com o 2º lugar no 6º Prêmio Banco do Nordeste de Economia Regional (Fortaleza-2002)

## 1 - INTRODUÇÃO

Embora a água seja um recurso natural que se renova através do ciclo hidrológico<sup>1</sup>, ela vem se tornando um bem cada vez mais escasso e mais valioso, tanto na sua componente quantitativa quanto no seu aspecto qualitativo. Se medidas urgentes não forem tomadas, a escassez dos recursos hídricos pode criar conflitos irremediáveis pelo uso e comprometer o desenvolvimento sustentável de certas regiões. Este estudo chama a atenção para a necessidade de se implementar, com certa urgência, ações regulatórias e instrumentos eficientes de gestão, que busquem uma alocação mais apropriada dos recursos da água entre os seus múltiplos usuários. A melhor alocação dos recursos hídricos, conforme será demonstrado ao longo deste texto, é aquela em que tais recursos se situam equidistantemente acessível a todos os setores interessados em seu uso. Nessa alocação, o predomínio dos recursos hídricos, em cada bacia ou região, só deve ser dado ao uso que permitir a extração dos maiores benefícios sociais líquidos, ao serem levados em consideração os objetivos conjuntos de todos os setores usuários. É verdade que conflitos pelo uso da água sempre existirão, mas é também preciso criar mecanismos eficientes para mitigá-los.

A agricultura irrigada, a geração hidráulica de energia elétrica e, em certa extensão, o abastecimento urbano são, na atualidade, grandes competidoras pelo uso da água em sistemas hídricos. É inquestionável a importância da energia elétrica como setor estratégico da economia brasileira. Mas reconhece-se também que essa importância foi bem mais acentuada na época em que o país iniciava o desenvolvimento de sua indústria, o segmento que mais

consome energia. Não se pode esquecer que outros setores da economia brasileira são também fortemente dependentes da base nacional de recursos hídricos, de modo que a geração de energia elétrica não pode e não deve ser o único setor a ter prioridade sobre o uso dos mesmos, ainda porque a geração hidrelétrica acarreta um custo bastante significativo para a sociedade. A despeito de o uso da água para geração de eletricidade ser considerado como uso não-consuntivo dos recursos hídricos, a geração hidráulica de energia restringe o uso dos recursos da água à montante da geração, indisponibilizando grandes quantidades desses recursos que poderiam estar sendo utilizados em outras finalidades, assim como provoca perdas consideráveis por evaporação nos espelhos de água dos reservatórios de regularização da vazão, as quais podem comprometer significativamente a sustentabilidade dos sistemas hídricos.

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 (CARREIRA-FERNANDEZ, 2000a). Tentando aprofundar um pouco mais o conhecimento a respeito dessas e de outras questões correlatas, este trabalho estuda a melhor alocação dos recursos da água na bacia do rio Formoso, no oeste baiano. O modelo utilizado neste estudo segue as diretrizes daquele apresentado em Rosegrant et al. (2000), mas amplia o escopo da análise para incluir importantes questões que ainda não foram devidamente analisadas. Nessa abordagem, faz-se uso de um modelo de otimização dos recursos hídricos no qual os objetivos conjuntos de todos os setores usuários são levados em consideração.

Além dessa introdução, este trabalho está estruturado em 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

---

<sup>1</sup> Nesse ciclo, as águas superficiais, submetidas à ação do calor solar, dos ventos e das superfícies de contato com a atmosfera, se evaporam formando nuvens, o mesmo ocorrendo com parte da água contida no solo e nos vegetais, estes últimos os responsáveis pelo fenômeno da evapotranspiração. O vapor de água contido nas nuvens, uma vez saturado e em contato com massas mais frias de ar, se condensa, provocando a precipitação atmosférica, sob a forma de chuva, neveiro, orvalho, nevada, geada e grizo.

gestão à disposição da instituição gestora dos recursos hídricos. A seção seguinte contém uma breve análise da bacia do rio Formoso, a qual sinaliza para uma perspectiva mais realista de planejamento e gestão desses recursos. Na quarta seção, desenvolve-se um modelo de otimização que leva em consideração a interação entre os três maiores usuários competidores pelo uso dos recursos hídricos em um sistema de bacia hidrográfica, 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 o equilíbrio do modelo e analisam-se os impactos sobre a alocação dos recursos hídricos entre os setores usuários. 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, melhorando assim a alocação desses recursos na economia.

## **2 - A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS**

A ação do poder público através das instituições gestoras dos recursos hídricos é geralmente justificada nos casos onde as demandas reveladas e a oferta não são capazes de contabilizar 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. Nesse caso, a gestão pública pode ser necessária tanto para assegurar o nível socialmente ótimo de produção e consumo, quanto para corrigir distorções não-desejáveis na alocação dos recursos, com ganhos para toda a sociedade.

A gestão dos recursos hídricos é justificada sempre que existir a possibilidade de conflitos pelo uso da água, como forma de garantir os direitos individuais de

cada usuário. No entanto, 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 usuário 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-consuntivo 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 o aspecto quantitativo do aspecto qualitativo, tendo em vista sobretudo o fato de que 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.

No entanto, 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<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> 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 Águas (ANA), para questões ambientais e de água, respectivamente.

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) o 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 um 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 usos 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 foi concebido 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 dos conselhos estaduais de recursos hídricos e de representantes das organizações civis de recursos hídricos), os comitês de bacia hidrográfica (fóruns de discussão e de decisão sobre projetos, programas e intervenções a serem implementadas na bacia hidrográfica) e as agências de água.

### **3 - CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO FORMOSO**

A bacia hidrográfica do rio Formoso está localizada na margem esquerda do rio São Francisco e faz parte da Bacia do Médio São Francisco (UP-17.3), que é formada pelos rios Carinhanha e Corrente, do qual o Formoso é um afluente. Essa bacia

ocupa uma área de quase 13 mil km<sup>2</sup> e, apesar de ser de terceira grandeza, 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 Vau, 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. E entre 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 viáveis<sup>3</sup>. 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 hidroelétrico de Gatos I permite garantir à Caraíba Metais, importante empresa mineral do Estado, o atendimento de suas necessidades energéticas, além de propiciar à região de Formoso melhores condições

---

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

de desenvolvimento, dada a atual restrição de demanda por energia elétrica que a região enfrenta. Ademais, o aproveitamento hidroelétrico 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 138kV.

Além das culturas tradicionais, tais como milho e feijão, atualmente cultivadas 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 da 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, pre-

dominantemente 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 hidro-energéticos, estabelecem possibilidades claras para a ocorrência de conflitos entre usuários 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 e estabelecem limites para a outorga de direito de uso da água nessa bacia.

### 3.1 - 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 III<sup>4</sup>. 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 90m<sup>3</sup>/s<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> Estudos efetuados pela Carafba 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 do barramento de regularização no eixo A. Nessa alternativa, poder-se-ia 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.

<sup>5</sup> 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.

Estudos hidrológicos mais recentes dão conta de que a estimativa de vazão de 90m<sup>3</sup>/s para o aproveitamento marginal de Sacos está superdimensionada. Deve-se registrar que essa estimativa foi oriunda das séries históricas disponibilizadas pela Centrais Elétricas Brasileiras (ELETROBRAS), 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 85m<sup>3</sup>/s, que, efetivamente, seria demandada para a máxima produção de energia elétrica na usina de Sacos<sup>6</sup>.

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 85m<sup>3</sup>/s requerida para máxima geração de energia elétrica –, a máxima área que poderia ser destinada à agricultura irrigada estaria limitada a 5.000ha (CARRERA-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 ELETROBRAS 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

<sup>6</sup> 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.

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

<b>Discriminação</b>	<b>Gatos I</b>	<b>Gatos III</b>	<b>Sacos</b>	<b>Total</b>
• Obras civis	14.160,66	23.922,99	127.740,98	165.824,63
• Equipamentos	23.264,86	20.883,84	50.716,62	94.865,32
• Eventuais	5.613,87	3.502,69	15.175,95	24.292,51
• Custo financeiro	6.204,06	7.427,80	36.479,67	50.111,53
• 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.

a Caraíba 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 avaliados tomando-se por base o percentual usualmente adotado de 1,5% do valor presente do investimento total necessário para implementar esses aproveitamentos hidrelétricos.

### **3.2 - 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 35.000ha, que seria distribuída ao longo de toda a região, da seguinte forma:

- 5.000ha a montante dos barramentos de Sacos e Gatos I;
- 15.000ha ao longo dos rios Formoso, Pratudão e Pratudinho, com custos relativamente baixos de recalque (isto é, até 3.000m de distância de recalque); e
- 15.000ha ao longo desses mesmos rios, mas com custos de recalque relativamente mais altos (isto é, com distâncias de recalque variando entre 3.000 e 5.000m).

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.

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 a montante do reservatório de Sacos, as culturas mais importantes a serem cultivadas seriam o milho e o feijão, cujas proporções em termos de

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

<b>Cultura</b>	<b>Rendimento médio (t/ha)</b>	<b>Preço Médio (R\$/t)</b>
Café Arábica	3,6	2.000
Milho	7,2	200
Feijão	2,5	650

**FONTE:** AIBA, INTERBA, BMF e Gazeta Mercantil.

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

Cultura irrigada	Custo variável médio	aluguel da terra	Custos financeiro	Custo médio
Café arábica (1)	5.364,00	53,64	429,12	5.846,76
(2)	6.243,70	62,431	499,4927	6.805,62
Milho	1430,40	28,608	143,04	1.602,05
Feijão	1.639,00	32,78	163,9	1.835,68

**FONTE:** Carrera-Fernandez (2000), Associação de Irrigantes da Bahia (AIBA).

(1) Com custo de recalque relativamente mais baixo.

(2) Com custo de recalque relativamente mais alto.

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 cerrados, 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 da 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.

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 5.000m 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 16,4% 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 da TABELA 3; 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:  $CMg_i = c_i [1 + \delta(x_i - x_i')/x_i']$ , onde  $c_i$  é a média do custo marginal de produção da agricultura irrigada<sup>7</sup>;  $\delta > 0$  é o fator de aumento no custo de irrigação, em função da distância em relação ao manancial, cujo valor estimado é 0,164; e  $(x_i - x_i')/x_i' = x_i/x_i' - 1$  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.

Ressalte-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,

<sup>7</sup> Avaliado em relação aos três cultivares que serão produzidos na área da bacia, ou seja, café, feijão e milho.

**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 <sup>1</sup> (m <sup>3</sup> /s)	Área irrigada (ha)	Demanda por água <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> /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.

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<sup>8</sup>.

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 3.000m 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 deveriam sofrer uma pequena redução nas suas respectivas capacidades

previstas de geração, relativamente àquelas capacidades projetadas nos estudos mais recentes.

### 3.3 - 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.

## 4 - O MODELO DE OTIMIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

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.

### 4.1 - A Geração de Energia Elétrica

A despeito do novo modelo comercial para o setor elétrico<sup>9</sup> – o qual foi concebido para envolver a

<sup>8</sup> Vale lembrar que, no dimensionamento da capacidade instalada dos aproveitamentos hidrelétricos, em função da disponibilidade hídrica do sistema, está sendo implicitamente suposta uma relação linear. No entanto, para um dimensionamento mais preciso, deveriam ser elaborados estudos hidroenergéticos 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, 45m<sup>3</sup>/s). Neste sentido, a demanda por água dessas hidrelétricas passaria a ser marginal em relação à capacidade hídrica do sistema.

<sup>9</sup> De acordo com a Lei nº 9.648/98 e o Decreto Nº. 2.655/98, que o regulamentam.

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 Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 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:

$$\max \pi = P_e y_e - f_e - c_e y_e - 0,0075 P_e y_e = (0,9925 P_e - c_e) y_e - f_e \quad (4.1.1)$$

$P_e$

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,  $f_e$  é o custo fixo de produção e  $0,0075 P_e y_e$  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:

$$y_e = \alpha_e - P_e \quad (4.1.2)$$

onde  $\alpha_e$  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:

$$\max \pi = (0,9925 P_e - c_e)(\alpha_e - P_e) - f_e \quad (4.1.3)$$

$P_e$

Donde obtém-se a seguinte tarifa de energia elétrica:

$$P_e^* = 1/2[\alpha_e + c_e / 0,9925] \quad (4.1.4)$$

Nesse contexto, supõe-se que as usinas geradoras tomam a tarifa de energia elétrica  $P_e^*$  como

dada e produzem de acordo com a seguinte tecnologia linear:

$$y_e^k = \gamma_e^k x_e^k \quad (4.1.5)$$

onde  $x_e^k$  é a quantidade de água utilizada para produção de energia elétrica pela firma  $k$  e  $\gamma_e^k$  é o parâmetro de eficiência da geradora  $k$ , ou seja, o coeficiente que transforma água em energia elétrica<sup>10</sup>. 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 à firma marginal pode ser considerada como uma renda ou quase renda econômica imputada às geradoras mais eficientes.

A função de lucro da atividade de geração de energia elétrica pode ser estabelecida da seguinte forma:

$$\pi_e = \sum_k (P_e^* y_e^k - f_e^k - c_e^k y_e^k - 0,0075 P_e^* y_e^k) = \sum_k \gamma_e^k (0,9925 P_e^* - c_e^k) x_e^k - \sum_k f_e^k \quad (4.1.6)$$

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.

## 4.2 - O Setor de Recursos Hídricos

A gestão dos recursos hídricos é uma atividade econômica que traz consigo um custo marginal baixíssimo ou muito próximo de zero. Isso porque a água é um recurso natural renovável, de modo que o aumento na sua utilização, tanto no seu componente quantitativo quanto qualitativo, não está diretamente associado a um aumento no custo de oferta. No entanto, o gerenciamento dos recursos da água exige certos custos fixos, resultantes de inves-

<sup>10</sup> 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 3,45m<sup>3</sup>/s. Isso significa que o parâmetro  $\gamma_e$  está em torno de 0,274.

timentos em projetos, obras e ações necessários para garantir a oferta desse recurso, além, é claro, dos custos de operação e manutenção do próprio sistema hídrico. Isso significa que os usuários terão que, de alguma forma, arcar com esses custos, sob pena de a oferta desse recurso ser reduzida, reduzindo conseqüentemente a sua utilização, com prejuízos para toda a sociedade. Nesse sentido, a cobrança pelo uso da água se justifica, funcionando, assim, como mecanismo de financiamento dos investimentos e custos imprescindíveis à atividade de gestão dos recursos hídricos.

A cobrança pelo uso da água é também justificada como forma de internalizar as externalidades negativas que os usuários dos recursos hídricos impõem aos demais usuários do sistema, ao utilizarem a água no consumo, como produto final, ou como insumo na produção. Assim, além de ser um dos instrumentos de gestão mais apropriados de induzir o uso racional dos recursos hídricos e combater o uso perdulário da água, a cobrança pelo uso da água é também justificada como mecanismo de correção das distorções entre o custo social e o custo privado.

Embora trate-se ainda de um instrumento relativamente novo no contexto da gestão dos recursos hídricos no Brasil, o debate sobre a cobrança pelo uso dos recursos hídricos no país, que se iniciou na década de oitenta, tem gerado uma grande quantidade de trabalhos e uma diversidade de metodologias concernente aos mecanismos de formação de preços pelo uso dos recursos hídricos. No entanto, tendo em vista que essas propostas apresentam vantagens e desvantagens, ainda não há um consenso sobre o referencial metodológico a ser utilizado para formação de preços pelo uso da água.

De fato, atribuir um valor econômico à água não é tarefa fácil, visto que esta pode ser utilizada em uma grande gama de diferentes usos, desde a sua utilização como bem de consumo final até ao seu uso como insumo na produção industrial. São várias as metodologias de formação de valor ou preço de um bem público como a água (recurso natural renovável), com múltiplas características e

especificidades, que a diferenciam dos demais recursos naturais. Essas metodologias se fundamentam em uma gama de diferentes teorias econômicas. Todas essas metodologias buscam ou priorizam algum dos quatro objetivos básicos, ou seja: (i) buscar eficiência na alocação dos recursos hídricos; (ii) internalizar os custos sociais; (iii) refletir o verdadeiro custo de oportunidade da água em cada uso; e (iv) auto-sustentabilidade financeira, no sentido de gerar recursos financeiros suficientes para financiar o plano de investimento programado para a bacia (CARRERA-FERNANDEZ, 2000d).

No entanto, a metodologia de preços ótimos é a única que atende a todos esses objetivos e não apresenta as desvantagens das outras metodologias. Fundamentada na teoria do *second best*, a metodologia de preços ótimos reconhece explicitamente que em uma economia caracteristicamente marcada por uma série de distorções, longe de serem observadas as condições ideais para uma alocação ótima dos recursos, qualquer tentativa em buscar as condições preconizadas em *first best* (preço refletindo o custo marginal de produção<sup>11</sup>) pode não ser mais preferível, pois a economia pode se afastar ainda mais da fronteira Pareto ótimo. Além de não gerar ganhos nem perdas financeiras, não justificáveis sob o ponto de vista distributivo, a política de preços ótimos maximiza a diferença entre os benefícios e custos sociais e, ao mesmo tempo, minimiza os impactos distributivos na economia. Essa política de preços não afasta a economia da fronteira Pareto ótimo, tão provável em uma política de preço igual ao custo marginal de longo prazo, assim como não cria ou amplia as distorções na utilização dos recursos hídricos, comumente associada com a política de preço igual ao custo médio.

---

<sup>11</sup> Embora a cobrança pelo uso da água com base no custo marginal de curto prazo gere uma alocação eficiente sob o ponto de vista econômico, visto que maximiza o excedente líquido nessa atividade de gerenciamento, graves problemas distributivos podem ser introduzidos. Isso porque, na maioria das bacias, o custo marginal de gerenciamento é muito pequeno em relação ao custo fixo. Esses problemas são superados pela metodologia de preço igual ao custo marginal de longo prazo.

Na metodologia de preços ótimos, a variação percentual de preço em relação ao custo marginal é inversamente proporcional à elasticidade-preço da demanda, ou seja:

$$(p_j - m_j)/p_j = \beta(1/|\epsilon_j|), \quad \forall j \quad (4.2.1)$$

onde  $p_j$  é o preço pelo uso da água no uso  $j$ ,  $\epsilon_j = (\partial x_j / \partial p_j)(p_j/x_j) < 0$  é a elasticidade-preço da demanda no uso  $j$ ,  $m_j = -\partial c_j / \partial x_j$  é o custo marginal de gerenciamento no uso  $j$  e  $\beta = 1 - (\partial v / \partial M) / \mu$ , é uma constante de proporcionalidade, que reflete a diferença relativa entre benefícios e custos marginais.

Dessa forma, quanto menor for a elasticidade-preço para uma determinada modalidade de uso da água, maior deverá ser o seu preço em relação ao custo marginal e vice-versa. Isso significa que se penalizam mais os usuários com maiores condições de pagar, enquanto que aqueles com menores condições pagam efetivamente menos. A cobrança de preços diferenciados minimiza as distorções no consumo e na produção, em relação aos seus níveis socialmente ótimos. Além de internalizar (aos custos privados) as externalidades negativas impostas pelos múltiplos usuários da água, a metodologia de preços ótimos restringe o órgão gestor dos recursos hídricos a cobrir todos os seus custos de gerenciamento, estabelecendo uma desejável auto-sustentabilidade financeira para o setor dos recursos hídricos.

A racionalidade desse resultado, que até certo ponto é surpreendente, se origina na teoria do “*second best*” de Lypsei e Lancaster (1956-7), a qual se fundamenta no fato de que, ao ser impossível a eficiência na alocação de recursos em uma parte da economia, a busca das condições padrão de eficiência para o resto da economia pode não ser mais desejável. Isso significa que, em uma economia caracteristicamente marcada pela existência de mercados regulamentados, com retornos crescentes de escala e externalidades tecnológicas, os quais não operam sob as condições-padrão de bem-estar econômico, não é mais socialmente ótimo ter preços refletindo custos marginais

de produção para alguns mercados (mas não todos), pois a economia pode se afastar ainda mais das condições Pareto ótimo.

A grande vantagem da metodologia dos preços ótimos é que ela gera uma alocação eficiente, tanto sob o ponto de vista econômico quanto distributivo. A metodologia de cobrança com base nos preços ótimos é a única que atende a todos aqueles quatro objetivos básicos que uma metodologia deveria ter.

Uma das atribuições do setor de recursos hídricos é implementar a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, orientando inclusive a escolha da melhor metodologia para determinação dos preços. Assim, admitindo-se que a metodologia utilizada para implementar o instrumento de cobrança pelo uso dos recursos hídricos seja a de preços ótimos, então os preços pelo uso da água nesses usos seriam estabelecidos por:

$$p_i^* = \frac{m_i |\epsilon_i|}{|\epsilon_i| - \beta} \quad (4.2.2)$$

e

$$p_a^* = \frac{m_a |\epsilon_a|}{|\epsilon_a| - \beta} \quad (4.2.3)$$

onde  $m_i$  e  $m_a$  são os custos marginais do gerenciamento dos recursos hídricos para utilização na agricultura irrigada e no abastecimento urbano;  $|\epsilon_i|$  e  $|\epsilon_a|$  são as respectivas elasticidades preço da demanda<sup>12</sup>; e  $\beta$  é a menor das raízes da equação quadrática resultante do sistema gerado pelas seguintes equações:

<sup>12</sup> As elasticidades de demanda em cada modalidade de uso variam de bacia para bacia. No abastecimento humano, a elasticidade (em valor absoluto) pode variar de 0,26 a 0,86, enquanto na irrigação elas variam de 0,02 a 0,94. Para maiores detalhes a esse respeito, veja-se Carrera-Fernandez (2000c).

$$\begin{cases} \frac{p_j - m_j}{p_j} = \frac{\beta}{|\varepsilon_j|} \\ \sum_j p_j x_j + 0,0075 P_e^* y_e^* - M = 0 \end{cases} \quad (4.2.4)$$

onde  $M$  é o custo de gerenciamento do sistema hídrico e  $P_e^*$  e  $y_e^*$  são, respectivamente, o preço e o nível de produção de equilíbrio de energia elétrica.

De acordo com a nova legislação, a parcela que o setor elétrico terá que transferir ao setor de recursos hídricos, a título de cobrança pelo uso da água nessa finalidade de uso, corresponde a 0,75% do valor da energia produzida, ou seja,  $p_e = 0,0075 P_e^* y_e^*$ . Assim, substituindo-se a tarifa de eletricidade e o nível ótimo de produção de energia elétrica (determinados anteriormente) nessa expressão, obtém-se o preço pelo uso da água na geração hidrelétrica:

$$p_e = 0,0038(\alpha_e^2 - c_e^2) \quad (4.2.5)$$

#### 4.2.1 - O abastecimento de água

Deve-se lembrar que, de acordo com a legislação brasileira vigente, 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:

$$y_a^l = \gamma_a^l x_a^l \quad (4.2.1.1)$$

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  $\gamma_a^l$  é o coeficiente técnico (parâmetro de eficiência) da empresa  $l$ , que transforma água bruta em água potável<sup>13</sup>. Supõe-se que as companhias de abastecimento atuam em mercados monopolísticos, enfrentando uma função de demanda linear, a qual é especificada por:

<sup>13</sup> 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  $\gamma_a$  está em torno de 0,67.

$$y_a^l = \alpha_a^l - P_a^l \quad (4.2.1.2)$$

onde  $P_a^l$  é o preço da água potável praticado pela companhia  $l$  e  $\alpha_a^l$  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.

Supõe-se que a função de lucro do setor de abastecimento público é estabelecida da seguinte forma:

$$\pi_a = \sum_l (P_a^l y_a^l - f_a^l - c_a^l y_a^l - p_a^* x_a^l) = \sum_l [\gamma_a^l (\alpha_a^l - c_a^l) - p_a^*] x_a^l - \sum_l \gamma_a^l x_a^l - \sum_l f_a^l \quad (4.2.1.3)$$

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 água<sup>14</sup>;  $f_a^l$  é o seu custo fixo; e  $p_a^*$  é o preço ótimo pelo uso da água no abastecimento público.

#### 4.2.2 - 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:

$$y_i^j = \gamma_i^j x_i^j \quad (4.2.2.1)$$

onde  $y_i^j$  é o nível de produção da cultura  $j$ ,  $x_i^j$  é a quantidade de água bruta utilizada na irrigação dessa cultura e  $\gamma_i^j$  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, dentre outros.

Conforme mencionado anteriormente, supõe-se que o custo marginal de produção do irrigante  $j$  cresce com a área irrigada (ou seja, com a utilização de água) de acordo com a seguinte expressão:

$$CMg_i = c_i^j [1 + \delta(x_i^j - x_i^j) / x_i^j] \quad (4.2.2.2)$$

<sup>14</sup> O termo  $[c_a^l + (p_a^* / \gamma_a^l)]$  corresponde ao custo marginal social de produção de água potável da companhia  $l$ .

onde  $c_i$  é o custo marginal médio de produção da agricultura irrigada;  $\delta = 0,164$  é o fator de aumento no custo de irrigação, em função da distância em relação ao manancial; e  $(x_i - x_i')/x_i' = x_i/x_i' - 1$  é o fator de correção do custo de irrigação em relação ao nível  $x_i'$ , considerado de baixo custo de irrigação, em termos de distância da área irrigada em relação ao manancial.

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:

$$\pi_i = \sum_j \{P_i^j y_i^j - f_i^j - c_i^j [1 + \delta(x_i^j - x_i^{j'})] y_i^j\} - p_i^* \sum_j x_i^j \quad (4.2.2.3)$$

ou

$$\pi_i = \sum_j \{\gamma_i^j [P_i^j - c_i^j (1 - \delta + \delta(x_i^j/x_i^{j'}))] - p_i^*\} x_i^j - \sum_j f_i^j \quad (4.2.2.3')$$

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<sup>15</sup>;  $f_i^j$  é o seu custo fixo;  $p_i^*$  é o preço ótimo pelo uso da água na agricultura irrigada; e  $x_i^j$  é o nível de utilização de água para irrigação a baixo custo.

### 4.3 - 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  $x_a^*$  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:

$$\sum_j x_i^j + \sum_k x_e^k \leq x - x_a^* \quad (4.3.1)$$

Tomando a restrição de vazão (4.3.1), 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 de recursos hídricos para essas finalidades de uso de modo a maximizar os lucros conjuntos desses dois setores usuários, ou seja:

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

$x_i, x_e$

$$s.a. \quad \sum_j x_i^j + \sum_k x_e^k \leq x_0 \quad (4.3.2)$$

$$\sum_j x_i^j, \sum_k x_e^k \geq 0$$

onde  $x_0 = x - x_a^*$  é a vazão remanescente do manancial a ser repartida. As condições de primeira ordem para um ótimo interior desse problema são (teorema de Kuhn-Tucker)<sup>16</sup>:

$$\frac{\partial \pi}{\partial x_i^j} = \sum_j \gamma_i^j \{P_i^j - c_i^j [1 - \delta + \delta(x_i^j/x_i^{j'})]\} - p_i^* - \delta \sum_j \gamma_i^j c_i^j (x_i^j/x_i^{j'}) - \lambda \leq 0, \text{ ou } = 0 \text{ se } x_i^j > 0 \quad (5.3.3)$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial x_e^k} = \sum_k \gamma_e^k (0,9925 P_e^* - c_e^k) - \lambda \leq 0, \text{ ou } = 0 \text{ se } x_e^k > 0 \quad (5.3.4)$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial \lambda} = x_0 - \sum_j x_i^j - \sum_k x_e^k \geq 0 \text{ se } \lambda \geq 0, \text{ ou } = 0 \text{ se } \lambda > 0 \quad (5.3.5)$$

<sup>15</sup> Por analogia com o setor de abastecimento de água, o termo  $c_i^j [1 + \delta(x_i^j/x_i^{j'}) + p_i^*]$  corresponde ao custo marginal social de produção da cultura  $j$ .

<sup>16</sup> Admite-se que as condições de segunda ordem são satisfeitas.

onde  $\lambda$  é o multiplicador de Lagrange, o qual pode ser interpretado como sendo o custo marginal de utilização da água bruta, ao relaxar-se a restrição de vazão em mais um metro cúbico por segundo.

As duas primeiras condições têm uma implicação interessante, pois elas estabelecem que a alocação dos recursos hídricos entre esses dois setores usuários será otimizada e o lucro conjunto maximizado, quando o nível de produção de cada setor for estendido até o ponto em que o benefício marginal líquido desses setores forem iguais.

Admitindo-se uma solução interior (ou seja,  $\sum_j x_i^j > 0$  e  $\sum_j x_e^j > 0$ ) e combinando-se as duas primeiras condições de primeira ordem, resulta:

$$x_i^* = \{ \sum_j \gamma_i^j [P_i^j - c_i^j(1-\delta)] - p_i^* - \sum_k \gamma_e^k (0,9925 P_e^* - c_e^k) \} / 2\delta \sum_j \gamma_i^j c_i^j \quad (5.3.6)$$

Finalmente, substituindo-se (5.3.6) na primeira equação de restrição do problema de otimização (4.3.2), obtém-se a vazão ótima para o setor de geração de energia elétrica:

$$x_e^* = x_0 - \{ \sum_j \gamma_i^j [P_i^j - c_i^j(1-\delta)] - p_i^* - \sum_k \gamma_e^k (0,9925 P_e^* - c_e^k) \} / 2\delta \sum_j \gamma_i^j c_i^j \quad (5.3.7)$$

Ao serem outorgadas as vazões ótimas  $x_e^* > 0$  e  $x_i^* > 0$ , as quais satisfazem a restrição de que  $x_i^* + x_e^* \leq x - x_a^*$ , pode-se garantir que todos os setores usuários estarão realizando suas produções ótimas, de modo que  $y_e^* > 0$  e  $y_i^* > 0$ . Em conseqüência, o lucro conjunto desses dois setores será, portanto, maximizado. Além disso, garante-se também a realização da produção ótima de água potável para o abastecimento público  $y_a^* > 0$ , a qual tem prioridade por força de lei.

A intuição por trás desse resultado é que, ao ser otimizado o benefício social líquido, cria-se um mecanismo que permite internalizar (aos custos privados de produção) todos os efeitos externos (negativos e positivos) causados por cada setor usuário aos outros usuários dos recursos hídricos. Isso permite uma melhoria na alocação dos recursos hídricos entre os seus múlti-

plos usuários, relativamente à solução em que cada setor busca otimizar os seus lucros individualmente, com ganhos para toda a sociedade.

A solução desse problema de otimização estabelece a alocação ótima dos recursos hídricos na referida bacia entre os setores usuários. De fato, substituindo-se os respectivos parâmetros nas equações (5.3.6) e (5.3.7), obtém-se a melhor alocação dos recursos entre os setores usuários, ou seja:  $x_i^* = 31,9$  e  $x_e^* = 58,1$ . Essa alocação ótima da água internaliza os efeitos externos de cada setor usuário e maximiza o lucro agregado desses setores,  $\pi$ , o qual foi igual a R\$58.596.513,96, sendo que R\$55.488.021,61 foram resultantes da agricultura irrigada e R\$ 3.108.492,36, da geração de energia elétrica.

Os parâmetros utilizados nessa avaliação foram avaliados com base nas informações preliminares levantadas na terceira seção e são:  $\gamma_i = 1,21 \times 10^{-4}$  [ton/m<sup>3</sup>], 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 35m<sup>3</sup>/s;  $\gamma_e = 4,41 \times 10^{-4}$  [mWh/m<sup>3</sup>], resultante do 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 m<sup>3</sup>/s);  $P_i = 1.771,79$  [R\$/ton], que é a média ponderada dos preços de mercado dos três cultivares, cujos pesos foram a proporção das áreas plantadas com cada cultura;  $P_e^* = 72,35$  [R\$/mWh], com base no Valor Normativo estabelecido para a tarifa de geração no país;  $c_i = 1.137,58$  [R\$/ton], avaliado com base no percentual de 65% do preço médio de mercado dos produtos agrícolas;  $c_e = 14,47$  [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\$/m<sup>3</sup>], que é preço ótimo médio pelo uso da água na irrigação no Estado da Bahia (Carrera-Fernandez, 2002);  $x_i' = 20$  [m<sup>3</sup>/s], definido pelo limite acima do qual os custos com a irrigação aumentam consideravelmente.

A TABELA 5 simula as principais variáveis nas vizinhanças do equilíbrio. Pode-se observar que o lucro agregado dos setores de irrigação e geração de

**TABELA 5**  
SIMULAÇÕES DAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS  
NAS VIZINHANÇAS DO EQUILÍBRIO

Vazão para irrigação ( $x_i$ )	Vazão para geração EE ( $x_e$ )	Lucro agregado dos setores ( $\pi$ )	Lucro do setor de irrigação ( $\pi_i$ )	Lucro do setor de EE ( $\pi_e$ )
45,0	45,0	52.489.750,76	59.827.361,28	-7.337.610,52
40,0	50,0	56.260.764,01	59.611.312,36	-3.350.548,35
35,0	55,0	58.253.767,88	57.617.254,07	636.513,81
34,0	56,0	58.439.007,53	57.005.081,28	1.433.926,25
33,5	56,5	58.504.957,21	56.672.324,75	1.832.632,46
33,0	57,0	58.553.126,80	56.321.788,12	2.231.338,68
32,5	57,5	58.583.516,29	55.953.471,40	2.630.044,90
32,0	58,0	58.596.125,70	55.567.374,58	3.028.751,11
31,9	58,1	58.596.513,96	55.488.021,61	3.108.492,36
31,8	58,2	58.596.191,03	55.407.957,43	3.188.233,60
31,5	58,5	58.590.955,00	55.163.497,67	3.427.457,33
31,0	59,0	58.568.004,22	54.741.840,67	3.826.163,55
30,5	59,5	58.527.273,34	54.302.403,57	4.224.869,76
30,0	60,0	58.468.762,36	53.845.186,38	4.623.575,98
25,0	65,0	56.905.747,46	48.295.109,32	8.610.638,14
20,0	70,0	53.564.723,18	40.967.022,87	12.597.700,31
15,0	75,0	48.445.689,51	31.860.927,04	16.584.762,47
10,0	80,0	41.548.646,46	20.976.821,83	20.571.824,64
5,0	85,0	32.873.594,03	8.314.707,23	24.558.886,80
0	90,0	22.420.532,33	-6.125.416,75	28.545.948,97

**FONTE:** Cálculos dos autores

energia elétrica são maximizados, quando a alocação é feita de tal forma a igualarem-se os benefícios marginais líquidos desses dois setores. Em outras palavras, qualquer outra alocação dos recursos hídricos entre esses dois setores usuários, que não seja  $x_i^* = 31,9$  e  $x_e^* = 58,1$ , é Pareto inferior, tendo em vista que os benefícios totais não são maximizados.

Deve-se ressaltar que, para que essa solução seja implementada, é necessário que os órgão e instituições gestoras criem condições de melhorar a alocação dos recursos da água na bacia, assegurado, *a priori*, um tratamento simétrico a todos os seus usuários. Conforme ficou demonstrado, para que o benefício social líquido seja maximizado, a repartição deve ser estendida ao ponto em que o benefício marginal líquido desses setores seja igual. Isso implica que o predomínio de um setor usuário sobre o uso da

água só deve ser dado àquele setor que comprovadamente obtiver o maior benefício social líquido. Essa repartição é, em realidade, a essência do princípio dos usos múltiplos dos recursos hídricos.

## **5 - CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Objetivando subsidiar as políticas públicas de gestão dos recursos hídricos, este artigo desenvolveu uma análise de otimização desses recursos, a partir das alternativas de utilização que se apresentam em um sistema de bacia hidrográfica. Nessa análise, os recursos hídricos foram equidistantemente alocados aos setores usuários, de acordo com as necessidades de cada setor usuário, buscando determinar a melhor alocação desses recursos para a sociedade.

A análise desenvolvida ao longo deste ensaio tomou, como ponto de partida, o fato de que os usuários múltiplos têm, preliminarmente, iguais condições de acesso aos recursos da água. Em um segundo momento, entretanto, a análise se inclina para indicar que essa igualdade de condição precisa ceder lugar a que o uso que comandar o maior benefício social líquido deva preponderar sobre os demais, afigurando-se como o uso prioritário das águas da bacia. Conclui-se que a política mais apropriada de gestão dos recursos hídricos é aquela em que o predomínio na bacia hidrográfica é outorgado ao uso que, comprovadamente, gera o maior benefício líquido para a sociedade.

Este estudo demonstrou que a utilização dos recursos hídricos pelo setor agrícola de irrigação comanda um valor econômico para a sociedade bem maior que o valor propiciado pela geração de energia elétrica. Isso significa que, sob o prisma do princípio dos usos múltiplos, políticas que priorizam a utilização dos recursos hídricos à agricultura irrigada, ao invés da geração de energia elétrica, são Pareto superior e, portanto, estariam contribuindo para levar a economia na direção da fronteira Pareto ótimo, com ganhos líquidos para toda a sociedade.

Ressalte-se que a política de utilização prioritária dos recursos hídricos da bacia do rio Formoso à agricultura irrigada não significa absolutamente que se devam descartar todos os projetos de aproveitamentos de geração de energia elétrica na bacia do Formoso. Ao contrário, o próprio desenvolvimento da agricultura irrigada, nessa região, não pode prescindir desses aproveitamentos hidrelétricos. No entanto, para que a agricultura irrigada possa conviver harmonicamente com as usinas hidrelétricas será necessário elaborar novos estudos de viabilidade econômica dos aproveitamentos hidrelétricos previstos para a região, redimensionando os projetos já existentes de forma a adaptá-los à nova supremacia da agricultura irrigada em termos de usos dos recursos hídricos.

Espera-se que esta análise possa contribuir para aprimorar o gerenciamento dos recursos hídricos no

país, na medida que orienta as ações públicas e privadas no sentido de melhorar a alocação e a utilização desses recursos na economia. Ademais, espera-se que este trabalho possa também servir de subsídio para que os órgãos e instituições gestoras dos recursos da água possam resolver a questão de como implementar, em bacias de domínio dos Estados, os últimos aproveitamentos hidroenergéticos economicamente viáveis em uma perspectiva mais ampla, que permita obter os maiores benefícios sociais e garanta o desenvolvimento sustentável dessas regiões.

## **Abstract**

---

This paper approaches the question of optimal allocation of water resources in basin systems, taking as a reference the Formoso basin, in the State of Bahia. The best allocation of the disposable water resources in a basin system may be obtained as the result of an optimization problem in which the joint objectives of all user sectors are taken into account. The result of this problem establishes a sharing of water resources in such a way to equate marginal net benefit among all water users, according to the important principle of multiple uses of water resources. Finally, this paper calls attention for the necessity to congregate efforts in the sense of promoting the multiple use principle of water resources, through a symmetric and harmonious management of these sectors, which takes into account not only the individual goals of each sector, but mainly the global objectives of the whole society.

## **Key-words:**

---

Water resources-multiple use, Water resources-Allocation, Water supply, Irrigation, Power electricity generation, Charging for water resources.

## **6 – REFERÊNCIAS**

BAHIA. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação. **Estudo de planejamento de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Formoso**. Salvador: Superintendência de Recursos Hídricos do Governo do Estado da Bahia, 1998.

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

CARRERA-FERNANDEZ, J. 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, p. 810-835, 2000a. Número Especial.

CARRERA-FERNANDEZ, J. 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, p. 525-570, 2000b.

CARRERA-FERNANDEZ, J. 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, p. 789-817, 2001.

CARRERA-FERNANDEZ, J.; GARRIDO, R.-J. O instrumento de cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas: uma análise dos estudos no Brasil. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 30, p. 604-628, 2000a. Número Especial.

CARRERA-FERNANDEZ, J.; GARRIDO, R.-J. O instrumento de cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas: teorias e metodologias. **Economia**, Campinas, v. 2, n. 2, p. 604-628, 2000b.

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

COASE, R. The problem of social cost. **Journal of Law and Economics**, 1960.

LYPSEI, R. G; LANCASTER, K. J. The general theory of the second best. **Review of Economic Studies**, v. 24, p. 11-32, 1956-7.

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

ROSEGRANT, M. W. et al. **Integrated economic-hydrologic water modeling at the basin scale: the Maipo river basin**. New York: International Food Policy Research Institute, 2000. (Discussion Paper n. 63).

---

Recebido para publicação em 19.JUL.2002