

Alocação Administrativa de Água: Modelagem Matemática do Comportamento do Usuário Caroneiro e da Agência Auto-Interessada em Jogos Estratégicos

Francisco de Assis de Souza Filho

Universidade Federal do Ceará

assisfilho@secrel.com.br

Rubem La Laina Porto

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

rlporto@usp.br

Recebido: 26/10/07 – revisado: 04/03/08 – aceito: 16/06/08

RESUMO

A outorga de uso da água é o instrumento de alocação da água. A extensão da outorga a todos os usos significativos tem sido um objetivo freqüente em diversas instituições gestoras. Esta discussão freqüentemente ocorre dissociada dos mecanismos de controle (fiscalização e punição) necessários para que o direito de uso seja garantido. A dissociação entre outorga e fiscalização pode permitir a ação de caroneira (free-riders) impondo perdas sociais e privadas no hidrossistema. A fiscalização por sua vez tem um custo para o Estado devendo ser corretamente dimensionada e projetada para evitar gastos desnecessários.

Este artigo propõe modelo matemático para quantificar a relação entre outorga e fiscalização baseado na teoria dos jogos e na escola economia "Law & Economics". Define-se e equaciona-se a efetividade de fiscalização necessária para controlar a ação caroneira.

A receita auferida pela aplicação de multas pode tornar-se o objetivo da agência de água, tornando a agência auto interessada. Analisa-se o comportamento da agência de água que atue com o objetivo de maximizar receita e mostra-se quão danoso pode ser este comportamento.

Palavras Chave: alocação de água, regulação dos recursos hídricos, outorga, fiscalização, free-rider.

INTRODUÇÃO

O gerenciamento de recursos hídricos tem se modificado nos últimos anos tendo crescido de forma significativa a importância da regulação do uso da água. Esta mudança demanda o desenvolvimento de novas ferramentas de análise adequadas ao planejamento e controle das atividades de regulação.

Uma questão relevante no processo de regulação é a efetividade da mesma em produzir o comportamento desejável dos agentes econômicos e sociais. Duas questões complementares são assim colocadas: i) até que ponto as regras do jogo são obedecidas? E como fazê-las serem obedecidas ao menor custo econômico?

Entende-se aqui regulação como as limitações impostas pelo Estado aos indivíduos e organizações que se apóiam no receio de sanções. A regulação econômica tem aspectos diferentes da regula-

ção social. A regulação econômica tipicamente se refere a restrições as decisões das firmas baseadas em preço, quantidade e entrada e saída, Viscusi et al (2000).

A alocação de água administrativa através da outorga de uso da água sob esta definição é uma regulação econômica (restringe entrada, saída e quantidade). A outorga estabelece um direito de uso da água que pode não ser efetivado se ocorrerem retiradas significativas não autorizadas no sistema, os chamados "roubos de água". Estas retiradas não autorizadas são realizadas pelos caroneiros (na literatura em língua inglesa denominados de *free-riders*). Freqüentemente discute-se no Brasil a universalização da outorga não considerando (ou considerando apenas formalmente) que níveis de controle são necessários para garantir a efetividade destes direitos.

Para que o direito de uso seja garantido faz-se necessário o estabelecimento de mecanismos de controle eficientes baseados na fiscalização e puni-

ção do infrator. Este trabalho analisa a relação entre os mecanismos de comando (outorga de direito de uso) e de controle (fiscalização e punição ao infrator), mostrando quais os níveis de controle são necessários para garantia dos direitos de uso estabelecido no comando para um dado hidrossistema. Utiliza-se a teoria dos jogos para elaborar os modelos que representam os interesses conflitantes dos diferentes usuários submetidos ao ambiente de regulação (comando e controle) e sua interação. Os incentivos e sanções econômicas impostas aos usuários são modelados pela teoria da escola economia "Law & Economics", Cooter e Ulen (2000).

Um ponto de interesse aqui é o estabelecimento do menor nível de controle que garanta os direitos de uso. Pois níveis de controle mais altos que estes representam custos adicionais desnecessários e níveis de controle mais baixos não garantiriam os direitos de uso. O controle consiste no estabelecimento de punição ao infrator e em um sistema de identificação do mesmo (fiscalização).

A agência de água ao auferir receita com a aplicação das punições pode vir a ter como objetivo o seu auto financiamento que pode evoluir para uma maximização da "renda" líquida. O impacto desta estratégia da agência é analisado neste trabalho.

O presente texto é organizado em sete seções. A primeira é esta introdução. A segunda apresenta uma breve descrição do mecanismo de alocação de água via outorga. A terceira seção apresenta uma situação problema que será utilizada como exemplo de aplicação do modelo proposto. A quarta seção apresenta o modelo proposto. A quinta seção apresenta os resultados do comportamento dos usuários obtidos pelo modelo. A sexta seção apresenta o comportamento da agência reguladora e finalmente na sétima seção são apresentadas as conclusões.

ALOCAÇÃO DE ÁGUA ADMINISTRATIVA

A alocação administrativa baseia-se na distribuição de cotas do bem para os usuários, estabelecendo um sistema de direitos de uso. Estas cotas são distribuídas de forma discricionária pelo agente do poder público. O Brasil optou por este mecanismo de personalização da alocação de água.

A alocação administrativa pode ser entendida como um mecanismo de comando e controle. O comando está associado à expedição do direito de uso: outorga e o controle nos mecanismos de garantia de que este direito de uso seja efetivado. O mecanismo de alocação através da administração públi-

ca tem no Comando e Controle sua fundamentação na Econômica Ambiental. Não obstante esta raiz na Economia Ambiental uma ampla literatura em recursos hídricos tem abordado diversos aspectos desta modalidade de alocação de uso da água de forma isolada, Kelman (2000), Ribeiro et al (2003), ou comparativamente a outros tipos de alocação: via preço, mercado e negociação entre usuários, Dinar (2000), para uma revisão sobre o tema ver Souza Filho (2006). Apresenta-se a seguir uma breve descrição deste tipo de alocação.

O Comando & Controle (CC) consiste na primeira geração de políticas ambientais. A característica básica do CC consiste na prescrição pela autoridade competente das medidas específicas que o poluidor deve tomar a fim de evitar sanções legais (proibição judicial ou multa). O comando e controle introduzem uma política que, a partir de um comando central apoiado quase que exclusivamente no conhecimento de cientistas naturais, propõem, ora o controle de insumos (controle restrito), ora o das emissões (controle ampliado), ou as duas simultaneamente.

A idéia básica no comando e controle é se A, ao produzir, danifica B; deve-se procurar reduzir o dano de B impondo limitações na produção de A. Esta abordagem não considera a relação circular proposta por Coase (1960, 1988): quando se limita a produção de A para evitar danos em B, A é danificado e assim a existência de B danificaria A.

Os recursos hídricos, desde tempos remotos, têm sido alocados por um critério social: garantir água para os consumos humanos, sanitários e para a produção agrícola. Para manter esta alocação, a sociedade realiza investimentos em infraestrutura. Modificações na sociedade resultaram em uma nova perspectiva de como a água é alocada, Dinar et al. (1997).

O processo de alocação de água pública (administrativo) é o mais utilizado em diversos países devido às características especiais da água que levam a falhas de mercado. As falhas de mercado são apresentadas das em, por exemplo, (World Bank, 1993). Fundados nestas características especiais, constrói-se a defesa da alocação administrativa da água através da outorga (permissão de uso) como contraponto a outros métodos de alocação. Este é um tema em debate na literatura, Holden (1996) e Dinar (1997).

Em alguns anos de maior escassez faz-se necessário o racionamento da outorga. Sendo este um assunto crítico, pois, uma quantidade de outorga maior que a oferta induz a não efetividade do sistema de licença. Dois critérios de racionamento da

Tabela 1 - Centros de demanda com o rendimento bruto (RB), custo variado (CV) e custo fixo (CF) e o valor da demanda(VD)

Produtor	VD(hm3/ano)	RB(Milhões R\$/ (hm3/ano))	CV(Milhões R\$/ (hm3/ano))	CF(Milhões R\$/ (hm3/ano))
Pecuaristas Privados Baixo Jaguaribe	18,80	0,266	0,114	0,084
Produtores de Grãos Privados Baixo Jaguaribe	84,33	0,375	0,188	0,071
Fruticultores Privados Baixo Jaguaribe	41,36	0,343	0,165	0,103
Total Perímetro DIJA	22,10	0,276	0,209	0,028
Pecuaristas Morada Nova	2,54	0,238	0,107	0,105
Produtores de Grãos Morada Nova	29,60	0,330	0,180	0,116
Fruticultores em Iço	19,98	0,155	0,077	0,077
Produtores de Grãos em Icó	55,81	0,150	0,056	0,081
Carcinicultores Baixo Jaguaribe	-	1,209	0,689	0,130

outorga em anos críticos são propostos por Kelman (2000): o primeiro critério é o do racionamento proporcional para todos os usuários; o outro critério baseia-se em uma lista de prioridades que pode ser firmado na antiguidade, importância do uso ou em outro critério qualquer de ordenamento da lista.

O PROBLEMA ANALISADO

A alocação administrativa tem na ação de controle uma chave para a eficácia. Sem uma ação de controle eficiente não deverá haver efetividade da alocação. Não obstante este fato, as ações de controle (hidrometração de usuários, monitoramento hidrológico, sensoriamento remoto, patrulhas motorizadas, sistema administrativo de punição...) tem um custo; devendo haver um *trade-off* entre custo e efetividade do controle.

Seria interessante do ponto de vista financeiro a identificação de um nível mínimo de efetividade de fiscalização em que se controle em patamar desejável a ação caroneira. Em outras palavras, deseja-se identificar qual o custo mínimo para se garantir o direito de uso outorgado.

Escolheu-se como exemplo de aplicação da metodologia desenvolvida o sistema da bacia do Jaguaribe no Estado do Ceará. A Bacia do Rio Jaguaribe tem 72.000 km². Os usos da água na bacia são irrigação e abastecimento urbano.

Utilizando-se os dados fisiográficos e sócio-econômicos desta região construiu-se uma representação simplificada desta bacia. Assim, tem-se uma situação de aplicação hipotética (simplificada) construída com dados reais.

Dois configurações de hidrossistemas são usadas neste trabalho. A primeira será denominada de *Homogênea* e a segunda de *Heterogênea*.

Na configuração homogênea tem-se um reservatório e nove usuários com as mesmas características econômicas e financeiras.

Na configuração Heterogênea tem dois reservatórios e nove usuários com características econômicas e financeiras diferentes como mostrado na Figura 7.

Informação econômica-financeira

Os usuários da bacia do Jaguaribe foram agrupados em nove (9) grandes classes. As características econômico-financeiras destas classes são apresentadas na Tabela 1. Os dados apresentados nesta tabela foram obtidos do Estudo de Cobrança pelo Uso da Água, SRH-Ce(2002).

Os agentes usuários têm a sua propriedade econômico-financeira descrita pela equação:

$$\pi_i = \beta_i Q_i - (CV_i Q_i + CF_i K_i) \quad (1)$$

onde π_i é o benefício líquido ou lucro líquido; β_i é o benefício por unidade de vazão captada; Q_i é a vazão efetivamente captada pelo agente usuário sem-

pre menor ou igual a K_i que é a capacidade instalada deste; CV_i é o custo variável por unidade de vazão captada; CF_i é o custo fixo por unidade de vazão instalada e i é o agente usuário em foco. Lembra-se que $Q_i \leq K_i$.

Utilizou-se no caso homogêneo o **perímetro de irrigação Jaguaribe-Apodi**, apresentadas na Tabela 1. No caso Heterogêneo foram utilizado os três tipos básicos de usuários apresentados na Tabela 1 em negrito. De forma que o TIPO 1: usuário da irrigação construído a partir dos dados do perímetro de irrigação Icó (Bacia do Alto Jaguaribe-Salgado, Ceará); TIPO 2: usuário da irrigação construído a partir dos dados do perímetro de irrigação Jaguaribe Apodi (Bacia do Baixo Jaguaribe, Ceará) ; TIPO 3: Usuário de Carcinicultura (Bacia do Baixo Jaguaribe, Ceará).

Com vistas a facilitar a visualização dos dados foi feita uma transformação linear nestes valores de forma que a renda líquida (π_i) varie em uma escala de zero (0) a um máximo de cem (100), para este fim multiplica-se a renda líquida por cem (100) e divide-se por três vírgula oito (3,8). O valor da unidade monetária após transformação será chamado de unidade monetária (u.m).

Cada usuário, neste exemplo, poderá instalar no máximo (K^{\max}) uma demanda de 10 hm^3 /ano. A demanda máxima instalada no sistema seria de 90 hm^3 /ano. Chamar-se-á hm^3 /ano de unidade de água (u.a).

Licença outorgada

Cada agente usuário receberá uma licença igual a 5 u.a nas aplicações realizadas neste artigo.

MODELO PROPOSTO

A modelagem proposta baseia-se na idéia de que ao sistema de recursos hídricos é condicionado por três classes de componentes: Natureza, Agentes Econômicos e Sociais e o Estado. Estes três componentes agem simultaneamente no hidrossistema e submetidos às restrições da infra-estrutura física do hidrossistema determinam a dinâmica deste. Os agentes econômicos e sociais têm interesses individuais e freqüentemente competitivos em relação aos demais usuários. A dinâmica dos hidrossistemas é freqüentemente conflituosa e apresenta equilíbrios que podem ser entendidos como pactos sociais para a utilização dos recursos hídricos.

A arquitetura do sistema proposto neste trabalho procura contemplar a modelagem de cada um destes componentes. Utilizando uma estratégia de baixo para cima (na literatura inglesa "down-up"), isto é, defini-se um conjunto de componentes e descreve-se as regras de inter-relação destes componentes. Procura-se na interação destes componentes recuperar o comportamento agregado do sistema. Esta metodologia é própria à análise de sistemas em recursos hídricos.

O modelo proposto define de forma explícita os incentivos econômicos e não econômicos (oriundos da ação do estado e dos demais usuários) que condicionam a ação dos usuários. Este condicionamento é mútuo, isto é, ao tempo que o usuário é condicionado ele condiciona os demais, Figura 3. Este condicionamento mútuo proporciona aprendizado e equilíbrios aos sistemas. Denominar-se-á o modelo por Modelo de Alocação Comando e Controle (MACC).

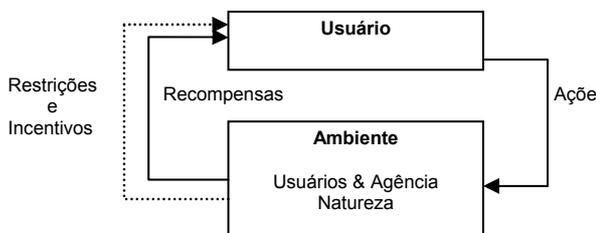


Figura 1 - Sistema de Aprendizagem do Agente Usuário (na literatura em língua inglesa denominado de "Reinforcement Learning")

A questão chave aqui é como desenhar uma arquitetura institucional que produza as ações desejáveis dos usuários. Para isto faz-se necessário uma modelagem dinâmica das interações entre os agentes usuários, agência/Estado e natureza.

O mecanismo de incorporação do modelo institucional de controle (incentivos e coerção da agência) na decisão dos usuários foi construído através da loteria da regulação e esta foi incorporada em um modelo de simulação que descreve a dinâmica da relação entre o modelo institucional, agentes usuários e natureza. A seguir descreve-se a loteria da Regulação para em seguida apresentar o modelo utilizado.

A loteria da regulação

A loteria da regulação procura apreender o comportamento estratégico de uma agente de ter ou não uma ação caroneira (*free-rider*).

A parte da regulação apreendida pela loteria é o sistema de fiscalização e sanção ao infrator. Sistema de coerção (aqui traduzindo o conceito em língua inglesa de *Enforcement*) que consiste em: i) definição da regra de punição; ii) fiscalização e iii) aplicação da punição.

O modelo aqui proposto tem como hipótese que a decisão de um agente usuário de retirada de água ilegal, sem licença, segue uma ética utilitarista com função utilidade de caráter puramente econômico. A função utilidade futuramente pode incorporar outros valores além do econômico.

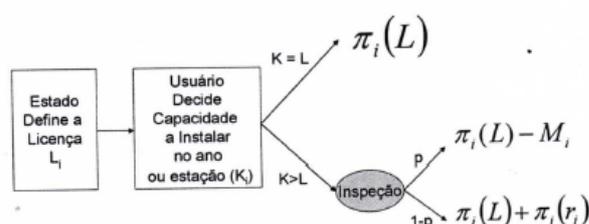


Figura 2 - Árvore de Decisão da Loteria da Regulação

A coerção é estabelecida pelo nível de fiscalização que define a possibilidade do infrator ser pego (efetividade de fiscalização: p) e a pena a que o mesmo deve ser submetido (multa: M) quando pego. Sob uma ética utilitarista, onde o que importa são os resultados e não há restrição *a priori* de certo ou errado, o agente usuário encara a regulação como uma *loteria de retirar ou não retirar água irregularmente*, como mostrado na Figura 4, que pode ser descrita da seguinte forma:

- **Não comprar a loteria.** Se não retirar água irregularmente: $K = L$; K é a capacidade instalada e L é a Licença. Neste caso, ele ganha o benefício (π_i) associado à vazão de seu direito de uso (L_i), ou seja, **tem um benefício total de $\pi_i(L_i)$.**
- **Comprar a loteria.** Retira água irregularmente. Neste caso, ele tem uma chance p de ser pego e caso seja pagará uma multa M , assim:
 - **Se não for pego**, com chance $1-p$, ele terá um rendimento $\pi_i(L_i)$ associado à vazão a que tem direito e um incremento $\pi_i(r_i)$ devido à vazão r_i retirada irregularmente, **tendo um benefício total de $\pi_i(L_i) + \pi_i(r_i)$.**

- **Se for pego**, com chance p , ele terá um rendimento $\pi_i(L_i)$ associado à vazão a que tem direito e pagará uma multa no valor de M , **tendo um benefício total de $\pi_i(L_i) - M$.**

A severidade do risco (R), associado à regulação, para o infrator é igual ao produto da possibilidade de ser pego e a multa, isto é, $R = pM$. O valor esperado desta loteria é: $\pi_i(L_i) + (1-p) \pi_i(r_i) - pM$. Para um usuário neutro a risco se $(1-p) \pi_i(r_i) - pM > 0$, então ele comparará a loteria. Denominaremos de **efetividade da fiscalização** a probabilidade p . Esta é a base da formulação sob a regulação que será utilizada nas seções a seguir e que tem sua conceituação fundada na matemática do crime racional descrita em Cooter e Ulen(2000:439).

Descrição do Modelo do Usuário

O modelo desejado tem os seguintes componentes: i) Natureza (Clima, hidrologia; Dinâmicas físico-química e biológica), ii) Modelo Institucional (sistema de controle, Modelo de alocação de água); iii) Comportamento do Agente Econômico e Social (função Econômico-Financeiro e Função Política, esta entendida como: a função que traduz os objetivos de um dos agentes econômico e social); iv) Dinâmica do Hidrossistema (Restrições físicas; Dinâmica do sistema e equilíbrios).

Neste trabalho o foco é a modelagem institucional e o equilíbrio entre os agentes usuários. A natureza será representada de forma simplificada pela oferta conhecida e pela rede fluvial.

Balanço Hídrico.

A disponibilidade hídrica para um dado usuário é calculado como o balanço hídrico de montante para jusante, utilizando equação do tipo:

$$O_i = O_j - \sum_{j=\text{montante } i} Q_j \quad (2)$$

Onde a vazão (Q_i) é a retirada de água para o agente j ; O_f é a oferta no ponto mais a montante, j representa os pontos de montante e O_i é a disponibilidade de água para o usuário i .

Modelo Institucional

A *alocação de água* e a regulação é realizada por uma agência reguladora. Cada agente-usuário receberá de forma discricionária uma licença de utilização de água (L_i).

A *regulação (controle)* é realizada através de um sistema de fiscalização e da aplicação de multa ao infrator. O sistema de fiscalização será modelado pela efetividade da fiscalização: probabilidade (p) de um agente-usuário infrator ser identificado e punido; sendo este o risco da fiscalização para o infrator. A multa (M) será proporcional: i) ao valor da retirada não licenciada (r_i), calculado pela expressão: $r_i = \text{Max} [0; K_i - L_i]$; ii) ao benefício por unidade de vazão do agente (β) e iii) ao fator de punição T que determina a severidade da multa, T varia no intervalo: $0 \leq T_i \leq T_{i,\text{max}}$. A multa será calculada para o usuário i pela expressão: $M_i = T \cdot \beta \cdot r_i$.

Denomina-se de R_i o valor esperado da severidade do risco da multa ser aplicada, e pode-se calcular este valor pela expressão: $R_i = p M_i$. A água utilizada regularmente (α_0) pode ser calculado pela expressão: $\alpha_0 = \text{Min}(Q_i ; L_i)$; e a utilizada irregularmente (α_1) pela expressão: $\alpha_1 = \text{Max}(0; Q_i - L_i)$.

Função Econômica - Financeira

O cálculo do rendimento π_i para o **agente-usuário** é realizado pela equação:

$$\pi_i = (\beta - Cv)_i \alpha_0 + (1 - p)(\beta - Cv)_i \alpha_1 - CF_i K_i - R_i \quad (3)$$

onde β é o benefício bruto, Cv é o custo variável e CF é o custo fixo. Nesta equação adiciona-se a Equação 1 o valor esperado da severidade da multa e o corte no suprimento da água retirada ilegalmente se o usuário for identificado. Observa-se que este corte leva a uma perda total da cultura irrigada ilegalmente.

Função Política

Cada agente-usuário procurará maximizar o seu benefício líquido, $\text{Max } \pi_i$; tendo como variável de controle a capacidade instalada neste ano ou estação K_i . O valor de K_i deve ser menor que a capacidade instalada em longo prazo (K_{max}), isto é, $0 \leq K_i \leq K_{i,\text{max}}$.

Desta forma o usuário procurará maximizar o seguinte sistema:

$$\text{Max}_{K_i} \pi_i$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} \text{Restrição na oferta:} & \quad Q_i \leq O_i \\ \text{Restrição de utilização} & \quad Q_i \leq K_i \\ \text{Restrição de Capacidade} & \quad K_i \leq K_i^{\text{max}} \end{aligned} \quad (4)$$

onde, a renda esperada é dada por:

$$\pi_i = \beta_i \alpha_{0i} + (1 - p) \beta_i \alpha_{1i} - CF_i K_i - p M_i \quad (5)$$

a penalidade pelo uso ilegal:

$$M_i = T \beta_i \alpha_{1i}$$

retirada legal é:

$$\alpha_{0i} = \text{Min}(Q_i , L_i);$$

A retirada ilegal:

$$\alpha_{1i} = \text{Max}(0; Q_i - L_i);$$

Descrição da Função Política da Agência Auto-Interessada

Agência de regulação terá como objetivo maximizar o seu caixa financeiro, $\text{Max } \pi_{\text{agência}}$, tendo como variáveis de controle: i) o fator de punição T que determina a severidade da multa, T varia no intervalo: $0 \leq T_i \leq T_{i,\text{max}}$; e ii) probabilidade (p) de um agente-usuário infrator ser pego. Esta não é a função socialmente desejável para a agência reguladora, mas é uma prática que vir a ocorrer. A **agência** de regulação tem como equação econômico-financeira:

$$\pi_{\text{agência}} = \sum_i R_i - CR \quad (6a)$$

Onde CR é o custo da regulação para dada efetividade de fiscalização (p), isto é, $CR = ap^b$. A Equação 6a pode ser escrita alternativamente como:

$$\pi_{\text{agência}} = \sum_i (p T \beta r_i) - ap^b \quad (6b)$$

Dinâmica e Equilíbrio do Sistema

Os agentes-usuários entrarão em um jogo competitivo buscando **cada um** maximizar o seu rendimento ($\text{Max } \pi_i$) e a agência reguladora também participará deste jogo. Neste jogo o conjunto dos agentes interagirá até chegar em um **Equilíbrio de Nash competitivo**.

A Figura 3 mostra este processo iterativo. O agente recebe a informação da licença, da penalidade e a efetividade de fiscalização (esta informa-

ção freqüentemente de forma indireta). Assim como sabe a quantidade de água disponível na última estação. Com estas informações o agente usuário tenta maximizar a sua função política. A agência poderá fazer o mesmo utilizando o valor esperado das multas a serem coletadas sobre diferentes fiscalizações. Este processo terá vários passos de tempo (t) até chegar ao equilíbrio.

O equilíbrio é definido como o equilíbrio competitivo de Nash. Equilíbrio Competitivo de Nash é descrito, por exemplo, em Nash (1950, 1953), Gibbons(1992), Osborne e Rubinstein(1994) e Myerson(1997)).

Para conceituar-se matematicamente o Equilíbrio de Nash apresentam-se algumas definições.

Denomina-se por S_i , onde i é cada um dos agentes que participam em um jogo, o conjunto de estratégias de ações viáveis disponíveis para o jogador i , sendo s_i uma estratégia de ação pertencente a este conjunto ($s_i \in S_i$).

Denomina-se por u_i a função resposta, isto é, a função que estabelece o resultado da estratégia s_i do jogador i em combinação com as estratégias dos demais jogadores.

Em um jogo com n-jogadores $G = \{S_1, \dots, S_n; u_1, \dots, u_n\}$, a estratégia é considerada **Equilíbrio de Nash**, Gibbons(1992:8), se, para cada jogador i , s_i^* é a melhor resposta a estratégia especificada pelos outros n-1 jogadores, $(s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*)$:

$$u(s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, s_i^*, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*) \geq u(s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, s_i, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*) \quad (7)$$

Para cada estratégia possível s_i em S_i .

A estratégia ótima para o agente i é a que resolve:

$$\max_{s_i \in S_i} u(s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, s_i, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*) \quad (8)$$

A estratégia ótima para todos os agentes no equilíbrio pode ser obtida numericamente a partir de um processo iterativo de maximizações das funções-resposta de cada um dos agentes supondo a posição dos demais como constantes durante esta iteração. Isto é, dada uma condição inicial, otimiza-se a posição do agente i mantendo a estratégia dos demais constante; em seguida, mantém-se a seleção ótima de i constante como as demais e seleciona-se o agente $i+1$ para otimizar-se sua estratégia. Repete-se este procedimento para todos os agentes. O processo se encerra quando o resultado não se modifica em dois ciclos completos de otimização de todos os agentes.

No presente caso as estratégias do agente usuário são o conjunto de possibilidade de capacidade instalada (K_i) e a função resposta é a renda esperada. No caso da agência o conjunto de estratégias são os valores de efetividade de fiscalização (p) e fator de penalidade (T) e a função resposta é a sua arrecadação líquida.

Utilizou-se para a resolução numérica das funções políticas dos agentes diferentes algoritmos de otimização: i) a função política dos agentes usuários foi resolvida pelo algoritmo Nelder-Mead que otimiza funções não lineares sem a utilização de gradientes; e ii) a função política da agência utilizou a estratégia de buscas unidimensionais como descrito em Fox (1971).

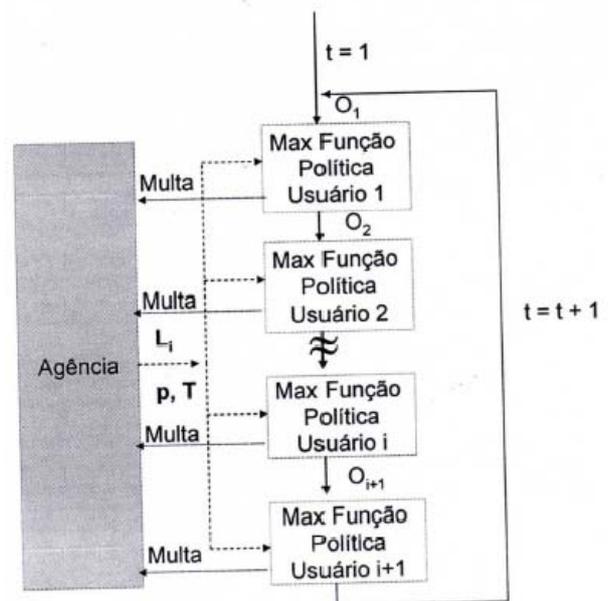


Figura 3 - Fluxo de informações e decisões do modelo.

MODELAGEM ESTÁTICA DO USUÁRIO

Supõe-se inicialmente um usuário localizado muito próximo do manancial onde não há limitação de oferta. Neste caso as limitações para a retirada de água são: i) sua capacidade máxima instalada e ii) as restrições legais que estabelecem que sua retirada deve ser menor ou igual a sua permissão de uso (L).

Esta seria uma situação que podemos denominar de **estática** onde não há interação entre os agentes, apenas destes com a agência reguladora.

Futuramente descreve-se a situação **dinâmica** de interação entre os agentes.

O modelo Comando & Controle consiste, em linhas gerais, na definição (comando) de uma licença individual por parte de um poder outorgante sem custos para o usuário e por um sistema de fiscalização que identifica usos não licenciados e os pune (controle).

A análise pretendida neste tópico procura responder a três perguntas básicas: i) quando compensa um agente-usuário manter uma ação exclusivamente de caroneiro (*free-rider*); ii) existirão situações em que compensará manter uma ação dual, isto é, ter parte do uso com licença e parte como caroneiro; iii) qual o espaço de decisão do agente no MACC (Modelo de Alocação Comando e Controle)?

A equação política que descreve o comando e controle, já apresentada, é escrita como:

$$\pi = (\beta - Cv)\alpha_0 + (1 - p)(\beta - Cv)\alpha_1 - CF - K - R \quad (9)$$

Inicialmente, realiza-se uma manipulação desta equação com vistas a incorporar a condição de oferta hídrica maior que a capacidade máxima (K^{\max}) do agente-usuário.

Hipotetizando-se que há uma oferta de água (Q) bem maior que a licença (L) teremos:

$$\alpha_0 = \text{Min}(Q; L) = L \quad (10)$$

$$\alpha_1 = \text{Max}(0; Q - L) = r \quad (11)$$

Onde r é a retirada de água acima do valor da licença; retirada de água não autorizada. Assim, a capacidade máxima instalada (K) será de:

$$K = L + r \quad (12 a)$$

Pode-se alternativamente definir de forma inversa L e r em função de K e de f sendo este um adimensional que mede a disposição a legalidade, assim ter-se-ia:

$$L = fK \quad (12b)$$

$$r = (1-f)K \quad (12c)$$

Lembrando-se que $R = p \cdot T \cdot (\beta - CV) \cdot r$ e utilizando-se Eq 12a pode-se reescrever a Eq. 9 como:

$$\pi = (\beta - Cv)L + (1 - p)(\beta - Cv)r - CF - (L + r) - pT(\beta - CV)r \quad (13)$$

Com esta equação pode-se passar a análise das três perguntas.

i. Quando compensará uma ação *free-rider*?

A ação caroneiro compensa economicamente para o agente quando seu benefício marginal (associado à retirada não autorizada) é positivo, isto é:

$$\frac{\partial \pi}{\partial r} > 0 \quad (14)$$

Partindo-se da Equação 10, pode-se chegar a:

$$\frac{\partial \pi}{\partial r} = (1 - p)(\beta - Cv) - CF - pT(\beta - CV) \quad (15)$$

Do sistema de equações formado pelas duas Equações 14 e 15 pode-se, após alguma manipulação algébrica, chegar à expressão:

$$p \leq \frac{1 - \left(\frac{CF}{\beta - CV} \right)}{1 + T} \quad (16)$$

Denominando-se por Fração do Custo Fixo (FCF) a expressão: $FCF = \left(\frac{CF}{\beta - CV} \right)$ pode-se reescrever a Equação 16 como:

$$p \leq \frac{1 - FCF}{1 + T} \quad (17)$$

Denominando-se o lado direito da Equação 17 por P_{CR} , isto é:

$$P_{CR} \equiv \frac{1 - FCF}{1 + T} \quad (18)$$

Assim definido P_{CR} é a probabilidade de um agente ser pego pela fiscalização abaixo da qual compensa uma ação de caroneiro

Assim, quando a expressão: $p \leq P_{CR}$ for satisfeita, compensa uma ação caroneira por parte do agente usuário. Observa-se que P_{CR} será definido por um fator puramente endógeno ao agente usuário: FCF e por um fator exógeno definido pelo ambiente institucional T que determina quantas vezes a multa será

maior que o benefício bruto menos os custos variáveis do agente usuário.

A Equação 18 define a relação de troca entre as duas variáveis do modelo institucional, quais sejam, a **efetividade da fiscalização** expressa pela possibilidade de um agente ser flagrado em uma ação *Free-Rider* (p) e o fator de multa (T).

ii. Quando compensará reduzir a licença em nome de uma ação caroneira ?

A ação caroneira será mais interessante para o usuário que a manutenção da licença caso:

$$\frac{\partial \pi}{\partial r} > \frac{\partial \pi}{\partial L}$$

Pode-se obter diretamente da Equação 10 que:

$$\frac{\partial \pi}{\partial L} = \beta - CV - CF \tag{19}$$

Assim, a expressão $\frac{\partial \pi}{\partial r} > \frac{\partial \pi}{\partial L}$ ocorrerá

quando $p < 0$, o que não é materialmente impossível. No âmbito do modelo MACC sempre compensará para o agente usuário obter e manter uma licença. É uma solução óbvia já que a licença não introduz custo e oferece maior garantia para o usuário. *A estratégia de conseguir uma licença maior ou igual a sua capacidade instalada é sempre a melhor no modelo MACC.*

Na prática o usuário sempre procurará realizar um pedido de permissão de uso maior que a capacidade que pretende instalar, produzindo uma sub utilização da água em função da sobre alocação da água. Já que parte da água alocada passa a ser virtual (não associada a uma demanda efetiva). Fato este potencial gerador de ineficiência do sistema.

iii. Espaço de Decisão do Agente no MACC

O espaço de decisão de um agente será determinado pelos fatores específicos (endógenos) ao agente-usuário e a fatores do ambiente institucional (exógenos).

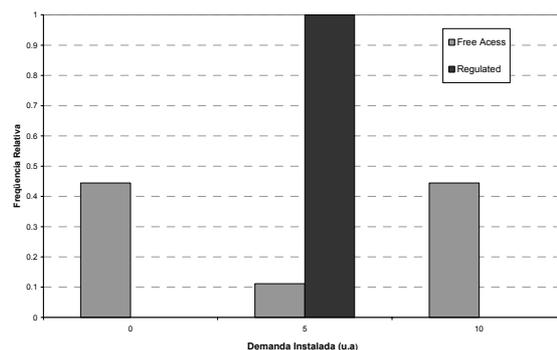
O interesse maior dos modelos aqui desenvolvidos é avaliar o impacto do ambiente institucional sobre as decisões dos agentes. Hipotetiza-se, assim, que, para cada um dos agentes durante o processo de tomada de decisão, apenas os fatores exógenos irão variar.

Sob esta hipótese, na Equação 18, a fração do custo fixo (FCF) terá um valor constante em fun-

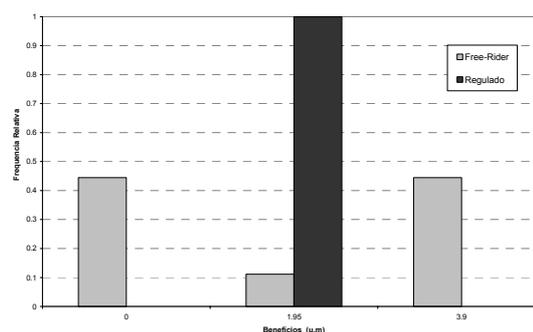
ção das características do empreendimento (variáveis endógenas).

Nestas condições, o valor da máxima “probabilidade que compensa roubar” (P_{CR}) variará hiperbolicamente com o valor do fator de punição, isto é, fator de multa (T).

A Figura 6 apresenta gráfico da relação entre P_{CR} e T quando o usuário tem custo fixo zero. Observa-se que a curva divide o primeiro quadrante em duas regiões onde compensa e não compensa uma ação free-rider.



(a)



(b)

Figura 4 - Resultados da simulação com usuários homogêneos para uma oferta total igual à Licença Outorgada de 45 u.a sob uma regulação que coíbe a ação caroneira, denominada de *Regulado*, e outra que não coíbe, denominada de *caroneiro*. (a) Frequência relativa das retiradas na situação de equilíbrio. (b) Frequência relativa dos benefícios do agente usuário na situação de equilíbrio.

Os valores dos benefícios brutos e custos (fixos e variáveis), apresentados na Tabela 1, possibilitam o cálculo da FCF para diversos usuários da bacia do Jaguaribe, no Estado do Ceará. As curvas de T vs. P_{cr} , para estes usuários, são apresentadas na Figura 6. O valor de T é um adimensional, isto significa que o mesmo valor de T tem impactos monetá-

rios diferentes para os diferentes usuários, já que a multa ocorre na escala econômica de $(-CV)$. Assim, para $T=1$ o valor da multa do carnicultor é de 0,52 milhões R\$/ (hm³/ano), do DIRJA é de 0,067 milhões R\$/ (hm³/ano) e a de Morada Nova é de 0,094 milhões R\$/ (hm³/ano). Grosso modo, neste modelo, a pena é proporcional ao lucro presumível.

MODELAGEM DINÂMICA

Na modelagem dinâmica há interação entre os agentes usuários e destes com a agência. Nesta seção será examinado o comportamento dos usuários em um cenário institucional com parâmetros constante, isto é, a agência modificando os parâmetros de efetividade de fiscalização, fator de punição e licença dos usuários.

A modelagem é realizada em duas situações a homogênea e a heterogênea conforme descrito a seguir.

Usuários Situação Homogênea

Simularam-se dois cenários de oferta na situação homogênea. O primeiro com a oferta igual ao total das licenças e o segundo com a oferta menor que o total de demandas expedidas. Este último simula uma situação de redução da oferta (seca) em que o estado não definiu o nível de racionamento dos usuários, mantendo-se os mesmos direitos de uso pré-redução da oferta (outorga de longo prazo).

Oferta igual ao total de Licenças

O histograma de frequências relativas das capacidades instaladas e dos benefícios líquidos obtidos dos agentes usuários é mostrado nas Figuras 6. Quando da ação caroneira, como se esperava, os usuários de jusante sabendo que não tem água disponível fecham o seu empreendimento, demandando zero; enquanto os usuários mais a montante utilizam sua vantagem comparativa de posição e ficam com toda água. Estas condições não são economicamente ineficientes em caso de usuários totalmente homogêneos ou heterogêneos com os mais eficientes localizados mais a montante. Quando introduz-se a regulação em patamares superiores a P_{cr} dos agentes usuários, como mostra a Tabela 3, os usuários instalarão o valor de suas licenças.

Oferta menor que o total de Licenças

Quando a oferta foi menor que o total de licenças outorgadas os usuários mais a montante

instalaram a demanda igual à licença de forma a não restar mais água para os usuários de jusante. Neste caso opera-se de forma similar ao "free-rider" sendo que a capacidade máxima a ser instalada é a licença outorgada.

O mecanismo de racionamento ou definição de prioridade a priori é decisivo para que o sistema opere de forma eficiente.

Tabela 2 - Apresentação dos Benefícios Sociais Agregados e da Capacidade Instalada. Oferta igual ao total de licença outorgada.

T	P	Capacidade Instalada (u.a)	Benefício Social (u.m)
0	0.00	10	4.95
1	0.10	10	4.95
2	0.10	10	4.95
3	0.10	10	4.95
3	0.14	10	4.95
3	0.15	5	17.55
3	0.20	5	17.55
3	0.30	5	17.55
3	0.40	5	17.55
3	0.50	5	17.55
8	0.10	5	17.55

Usuários Situação Heterogênea

A situação heterogênea foi simulada como anteriormente descrita. Os três tipos de usuários utilizados são apresentados na Tabela 4, esta tabela informa o P_{cr} para T igual a três. A distribuição dos nove usuários na rede hidrográfica é mostrada na Figura 7.

Tabela 3 - Características dos tipos de agente usuário utilizados no caso heterogêneo

Tipo Jogador	β	CV	CF	T	P_{cr}
1	1.50	0.56	0.81	3	0.035
2	2.76	2.09	0.28	3	0.146
3	12.09	6.89	1.30	3	0.188

Foram outorgados um total de 45 u.a, sendo cinco u.a para cada usuário. As simulações executadas no modelo MACC foram para um fator de multa (T) igual a três; foram feitas simulações com três

eficiências de fiscalização, igual a zero, 0,10 e 0,16. A seleção destas três eficiências de fiscalização se deu devido, respectivamente, a caracterizar uma situação de acesso livre; uma situação onde não se permite ação *Free-Rider* apenas dos jogadores Tipo 1 e, finalmente, a efetividade de fiscalização maior não permite ação *Free-Rider* dos jogadores Tipo 1 & 2. Para o Jogador do Tipo 3 sempre compensará uma ação *Free-Rider*. Estas eficiências de fiscalização são comparadas com os P_{cr} dos diferentes agentes usuários na Figura 8.

As estratégias dos jogadores nestas simulações encontram-se reveladas nas Figuras 9a,b, no que se refere à capacidade instalada (K) e disposição a legalizar através da licença a sua capacidade instalada (f), como definido na Eq. 12a,b.

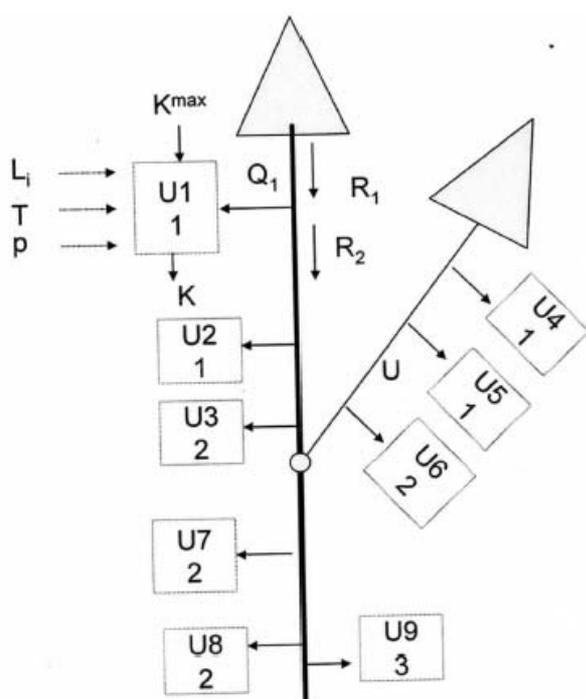


Figura 5 - Distribuição dos nove usuários (U) na rede hidrográfica. O número no inferior do quadrado indica o tipo de usuário conforme Tabela 4. Cada usuário recebe a informação de Licença (L), Efetividade de Fiscalização (p) e fator de pena (T), tem como restrição a disponibilidade no rio (R) e a Capacidade Instalada de Longo prazo (K^{max}) e decide qual a demanda instalar no período (K).

Nas condições similares a um acesso livre, quando a eficiência de fiscalização (p) foi igual a zero ($p=0,00$), observou-se o esperado. Os agentes

usuários do Tipo 1 mais a montante e de menor capacidade econômico-financeira retiraram praticamente toda a disponibilidade hídrica (40 u.a das 45 u.a disponíveis). O que restou foi apropriado pelos agentes do Tipo 2 no trecho de montante, não restando nenhuma disponibilidade para os usuários a jusante da confluência.

Outra eficiência de fiscalização (p) simulada foi igual a 0,10 ($p=0,10$). Observa-se, na Figura 9a, que esta eficiência de fiscalização fez com que os usuários do Tipo 1 fossem coibidos a não ter ação caroneira, utilizando exclusivamente os valores licenciados. Já os usuários do Tipo 2 agora mantêm uma ação caroneira. Observe, na Figura 9b, que o usuário do Tipo 2 com $p=0,00$ indicou que *desejaria* uma ação regulada enquanto com $p=0,10$ indica uma estratégia caroneira ($f=0,00$). Este fato deve-se a que, no primeiro caso, ele teve uma oferta menor que a licença que lhe havia sido outorgada e aí ele demanda uma legalidade ($f=1,00$), quando a disponibilidade hídrica fica maior que a sua licença e o valor da eficiência de fiscalização é menor que o P_{CR} . O agente do Tipo 2 age como caroneira.

Finalmente, simulou-se a eficiência de fiscalização (p) igual a 0,16 ($p=0,16$). Como nesta simulação a eficiência de fiscalização praticada (p) é maior que a probabilidade abaixo da qual compensa roubar P_{CR} dos agentes do Tipo 1 & 2, estes agentes não terão uma ação caroneira. O agente do Tipo 3 poderia ter esta ação mas é contingenciado pela oferta igual a sua licença. Assim, todos os agente retiram apenas o valor de suas licenças em uma estratégia regulada.

A reação do agente usuário quanto à ação legal ou ilegal no sistema depende exclusivamente de seus interesses em uma ética utilitarista, fato observado nestas simulações. Obviamente outras utilidades podem ser incorporadas na função utilidade que condicionem esta propensão à legalidade como aceitação pelo grupo.

Uma observação final sobre a eficiência econômica no modelo MACC. A eficiência econômica no modelo MACC não definida na ação de controle, obviamente, a eficiência econômica e outras condições desejadas para o sistema devem ser definidas *a priori* quando se definem as licenças. Neste sentido, o MACC necessita de informações *a priori* sobre as características econômicas de todos os usuários, caso se deseje uma alocação com maior equidade ou eficiência. A dificuldade de se obter esta informação *a priori* esta associada ao custo e à indisponibilidade, muitas vezes, dos agentes em declará-las; residindo neste fato muitas vezes a principal di-

ficuldade do modelo comando e controle em promover eficiência e equidade.

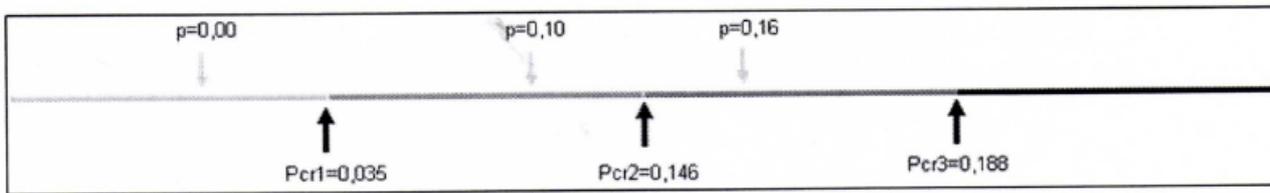


Figura 6 - Relação das eficiências da fiscalização (p) com relação aos P_{CR} dos diferentes tipos de agentes usuários.

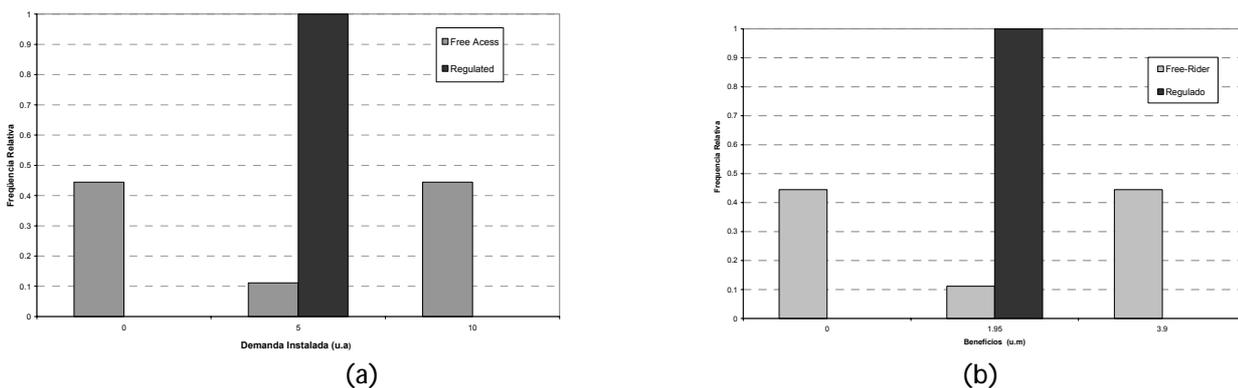


Figura 7 - Resultados da simulação com usuários homogêneos para uma oferta total igual à Licença Outorgada de 45 u.a sob uma regulação que coíbe a ação caroneira, denominada de *Regulado*, e outra que não coíbe, denominada de caroneiro. (a) Frequência relativa das retiradas na situação de equilíbrio. (b) Frequência relativa dos benefícios do agente usuário na situação de equilíbrio.

Estratégia da Agência Reguladora

Até aqui se apresentou o comportamento dos agentes usuários. Discute-se em seguida o comportamento de um outro agente: a Agência de Água. Os resultados foram gerados em situação com usuários homogêneos.

A agência no Modelo de Alocação Comando e Controle (MACC) teve sua função política (função objetivo) descrita anteriormente. Esta função política consiste na maximização do rendimento líquido da agência. Para muitos, este objetivo pode parecer uma disfunção total do papel da agência. E é. Porém, esta função política tem grande aderência com a realidade. Pode-se encontrar este discurso da água como *commodite* disfarçado no objetivo de que o critério de eficiência de uma agência de água é a sua arrecadação líquida (a COGERH no Ceará, por exemplo, viveu este momento). Este é o risco da agência que na ausência de controle social tornar-se uma empresa (mesmo que pública) que monopoliza

a distribuição do recurso hídrico e que tem como objetivo auferir lucro.

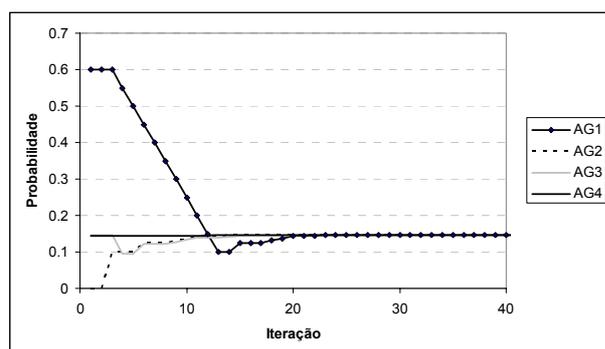
A função política de uma agência que maximiza sua função econômico-financeira () foi descrita pela equação 6.

Tabela 4 - Apresenta a efetividade da fiscalização (p) de equilíbrio para a fiscalização para várias condições iniciais e de fator de multa (T).

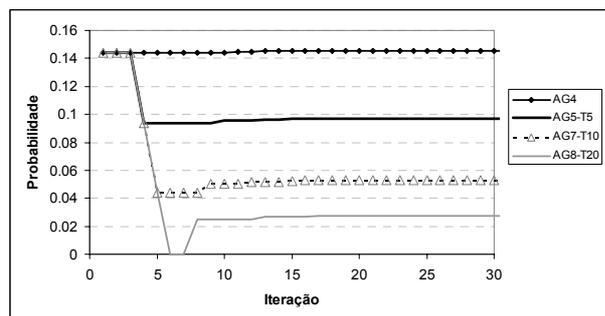
Simulação	T	p (inicial)	p (final)
AG1	3	0.600	0.146
AG2	3	0.000	0.146
AG3	3	0.150	0.146
AG4	3	0.140	0.146
AG5-T5	5	0.140	0.097
AG7-T10	10	0.140	0.053
AG8-T20	20	0.140	0.028

A agência opera em interação com os agentes usuários, tornando este processo dinâmico. O equilíbrio da estratégia da agência independeu da condição inicial, como mostra a Tabela 5. Observa-se, nesta tabela, que para T igual a três, independentemente do valor inicial, a efetividade de fiscalização de equilíbrio, p (final), foi sempre o mesmo e igual a 0,146; valor este igual à probabilidade abaixo da qual compensa roubar (P_{CR}) do usuário simulado. Este fato de ser P_{CR} a probabilidade de equilíbrio pode-se confirmar na Tabela 5 para outros fatores de punição (T), todos respeitando a equação 17.

Esta notícia parece alvissareira, pois, ter-se-ia a ação da mão mágica de Adam Smith, fazendo com que os interesses egoístas da agência e dos agentes usuários impusessem a regulação desejada: a menor efetividade de fiscalização em que se inibiria a ação caroneira, inibir-se-ia, pois, a indesejável ação caroneira ao menor custo CR para a agência, ou seja, para a sociedade. (Não há p menor que este que produza o efeito desejado e CR cresce com p .)



(a)



(b)

Figura 8 - Trajetória da efetividade da fiscalização (p) como função da estratégia da agência para as simulações apresentadas na Tabela 5 (a) Diferentes condições iniciais

ais para fator de multa (T) igual a três e diversas condições iniciais. (b) Trajetória da efetividade da fiscalização (p) como função da estratégia da agência para vários fatores de multa (T) e mesma condição inicial.

Porém, não foi exatamente este o resultado obtido. A Figura 10a revela esta estratégia. Vê-se nesta figura, que, independente da condição inicial, a agência tende ao valor da efetividade de equilíbrio a partir de probabilidades menores que P_{CR} . Observa-se como este fato é pronunciado para a simulação AG1, que desce de uma probabilidade inicial de 0,6 para 0,1; para iniciar a partir deste valor, um aumento gradativo até retornar ao valor de P_{CR} . Vê-se que este fato se repete para valores de probabilidade inicial (0,15) praticamente igual a P_{CR} (0,146), mesmo nesta simulação AG3 antes de se realizar a aproximação assintótica a P_{CR} ocorreu uma redução para valores de probabilidade próximos a 0,1, inferiores a P_{CR} . Observa-se que esta tendência de procurar aproximar-se de P_{CR} pelo limite inferior também foi observada nos casos mostrados na Figura 10b.

Qual a razão deste comportamento da Agência? Este comportamento está associado ao fato de que os equilíbrios entre os agentes são condicionados pela trajetória. Caso a aproximação de P_{CR} , que é a probabilidade de equilíbrio, se desse pelo limite superior, o sistema teria em seu equilíbrio: a ausência de caroneiros; Caso o equilíbrio ocorresse pelo limite inferior, o sistema viria de uma situação caroneira e esta se perpetuaria no equilíbrio.

Mas de onde vem o interesse do agente em manter esta situação? Pela Equação 6, caso houvesse uma regulação que impossibilitasse o caroneiro, teríamos o valor das retiradas não ilegais (r_i) igual a zero, caso houvesse Free-Rider, este valor seria diferente de zero. Se a probabilidade é a mesma e igual a P_{CR} , a situação com caroneiros produziria valores maiores de renda líquida da agência. Interessa a ação caroneira à agência para que ela possa expropriar, se possível, toda a riqueza produzida. A única forma de evitar esta estratégia da agência é introduzir outros elementos na sua função política tais como insatisfação dos usuários e outros atores sociais, controle ou objetivos sociais.

A Figura 11 mostra o efeito desta estratégia como função do fator de multa (T). Observe que toda a renda devido a ação caroneira não fica com o agente usuário. São dois os seus destinos possíveis: ou é apropriada pela agência ou torna-se perda para o sistema. Esta perda está associada ao termo $\{(1-p)(\beta-Cv)r\}$ que está na equação econômico-financeira do agente usuário e traduz o efeito do

corte de suprimento de uma demanda já instalada. Esta equação no equilíbrio pode ser escrita como $\{(1-P_{CR})(\beta-Cv)r\}$. Para T menores P_{CR} é grande e este termo torna-se grande e para T maiores P_{CR} é menor e este termo diminui. Desta forma, para T maiores a agência apropria-se da riqueza produzida pela ação caroneira e para T menores há perda associada a esta produção de riquezas. Nas condições de T menor, a agência tem uma estratégia que induz a um equilíbrio de maior ineficiência que uma situação caroneira pura.

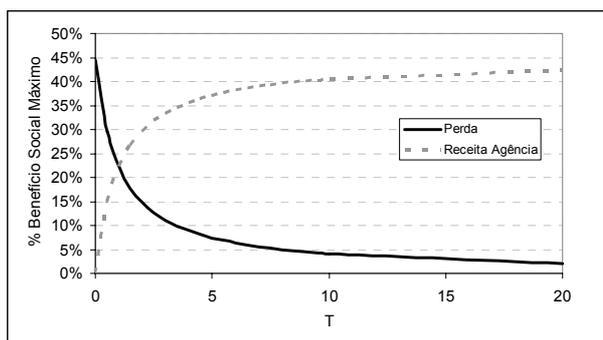


Figura 9 - A estratégia de regulação imposta pela agência de efetividade de fiscalização. Perdas para o sistema associado ao não suprimento de áreas irrigadas ilegalmente que foram identificadas pela fiscalização e receita da agência de água.

A função custo da regularização.

Diferentes funções de custo da fiscalização ($CR = ap^b$) foram avaliadas. Esta função é monotonicamente crescente. Se $b < 1$ há economia de escala na fiscalização, isto é, o custo marginal de fiscalização decresce com o aumento da fiscalização. Se $b > 1$ o custo marginal cresce e torna-se mais caro aumentar a fiscalização para efetividades de fiscalização (p) mais elevados.

Metodologia que possibilite o cálculo da função custo de fiscalização para diferentes patamares de efetividade de fiscalização deve ser desenvolvida. A obediência às regras pode ser imposta por mecanismos de coerção pública ou privada. O mecanismo de coerção público é o poder de polícia do Estado (fiscalização e sanção). O mecanismo privado esta baseado em sanções sociais ao infrator definidos pelos grupos sociais ou pelo acionamento por agente privado do mecanismo de coerção público. Um exemplo neste último caso é a lei ambiental

americana que permite não só a EPA mas qualquer agente social de acionar o Estado para punir um infrator ambiental, sendo os custos da lide auferidos ao agente social que acionou pago pelo infrator.

CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma metodologia para se integrar os instrumentos de outorga e fiscalização do uso água. Esta integração é necessária para o dimensionamento de instituições de gerenciamento de recursos hídricos mais eficientes.

Os modelos aqui propostos se propõem a explicar qual o tipo de dinâmica dos usuários de água em sua interação com a agência de água em dado cenário institucional. Esta dinâmica considera a tomada de decisão de diferentes tipos de usuários. O conhecimento desta dinâmica possibilita a identificação de incentivos econômicos e sociais necessários para a promoção do comportamento socialmente desejado para os usuários.

As hipóteses de racionalidade, auto-interesse, e maximização de utilidades não representam necessariamente o comportamento específico de um dado usuário. Experimentação Econômica podem ser realizadas para a verificação destas hipóteses. Em todo o caso, a modelagem desenvolvida aqui serve como instrumento auxiliar no projeto de instituições de gerenciamento de recursos hídricos ao possibilitar a construção de cenários "Se... Então...". Nestes cenários, a regra de decisão dos agentes (agência e usuários) pode ser representada de forma explícita.

A identificação de uma efetividade de fiscalização que garante que os usuários não terão uma ação caroneira é importante para o dimensionamento da fiscalização. Pode-se pensar em níveis de fiscalização diferenciado em conformidade com o empreendimento e a região em que o mesmo esta localizado. Um desafio aqui presente é a assimetria de informação entre os usuários e a agência de água. Uma parcela do custo da fiscalização esta associado a aquisição de informações dos usuários. Outra possibilidade é pensar em associar a ação de controle pública ("public enforcement") mecanismos de controle com base privada ("private enforcement"), aos moldes do realizado pela EPA. Aqui não se trata da privatização do monopólio da força, mas a construção de mecanismos de acionamento da máquina do Estado por agente privado. Hoje qualquer notificação de irregularidade só pode ser feita por agente público. Pode-se pensar em que esta notificação possa ser feita por agente privado e a apli-

cação da pena seja feita pelo Estado (necessariamente).

A agência de águas deve ter mecanismos de controle que evitem um comportamento auto-interessado. A captura da agência por este tipo de interesse pode levar a ineficiência econômica e comprometimento da função social da agência. Mecanismos de controle social da agência de água por parte da sociedade devem ser projetados.

REFERÊNCIAS

- COASE, R.H. "The problem of social Cost". Journal of Law and Economics, N3, pp1- 44. 1960.
- COASE, R.H. "The Firm, The Market, and The law". Editora Universidade de Chicago. 1988.
- COOTER, R., ULEN, T. "Law & Economics". 3 Edição. Addison Wesley Longman. 545p. 2000.
- DINAR, A., ROSEGRANT, M.W, MEIZEN-DICK, R.; "Water Allocation Mechanisms principles and examples". World Bank: Policy Research Working Paper #1779, Washington, DC. 1997.
- DINAR, A. "Political Economy of Water Pricing Reform". In "The political economy of water pricing reform". Ed. Ariel Dinal. Oxford University, 2000.
- FOX, R. L. "Optimizazation Methods for engeneering design" Ed. Addison-Wesley Publishing Company. 1971.
- GIBBONS, R. "Game Theory for Apllied Economists". Princeton University Press. 1992.
- HOLDEN, P., THOBANI, M. "Tradable Water Rights: A property Rights Approach to Resolving Water Shortages and promoting investiment". Policy Research Working Paper 1627. World Bank. 1996.
- KELMAN, J. "Outorga e cobrança de recursos hídricos". In "A Cobrança pelo uso da água Bruta", Org. A.C.M. Thame, Ed. IGUAL, 2000.
- OSBORNE, M.J, RUBINSTEIN, A. "A Course in Game Theory". MIT Press. 1994.
- MYERSON, R.B. "Game Theory: Analysis of Confl ict". Havard University Press. 1997.
- NASH, J. "Equilibrium Points in n-Person Games". Procedering of the National Academy os Sciences". 36:48-49. 1950.
- NASH, J. "Two-Person Cooperative Games". Econometrica, 21:128-140. 1953.
- RIBEIRO, M.M.R, LANNA, A.E.L. "A outorga Integrada das vazões e Captações e Diluição". Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 8 N. 3. Julho-Setembro. 2003.
- SRH-Ce, "Estudos para a defi nição e implementação da política tarifária de água bruta no estado do ceará: 5º relatório -análise da capacidade de pagamento dosu-

suários de água bruta na bacia do jaguaribe parte a - (irrigantes, carcinicultores e piscicultores)", Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará. 2002.

SOUZA FILHO, F.A. "ALOCAÇÃO DE ÁGUA SAZONAL E ANUAL: Modelos Matemáticos, Experimentação Comportamental e Justiça Alcativa. Tese de Doutorado. EPUSP. 2005.

WORLD BANK; "Water Resources Management, a World Bank policy paper". World Bank, Washington, DC. 1993.

VISCUSI, W.K; VERNON. J.M, HARRINGTON JR, J.E. "Economics of Regulation and Antitrust" Third Edition. MIT Press. 2000.

Administrative Allocation of Water: Mathematical Modeling of the Behavior of the Free-Riding User and the Agency Self-Interested in Strategic Games

ABSTRACT

The use permit is a mechanism to allocate water among users. Issuing water permits to all users is a usual objective of water agencies and it is seen as good water management practice. Nevertheless, there are costs associated with the correct application of this mechanism, including compliance checking and enforcement, since water permits are a command and control mechanism. The absence of compliance and enforcement will encourage free-riders, or users that do not comply with the permit rules. Compliance and enforcement processes are expensive and the State must bear their costs. The system must be appropriately designed in order to avoid unnecessary expenses. This paper proposes a mathematical model to design the enforcement system using game theory to explore the relationship between the permit system and the enforcement effort. It is based on the "Law & Economics School" and it aims to define the level of enforcement efficiency required in order to reduce the number of free-riders in the system to a minimum.

The fines collected may be so significant that the agency may see it as an attractive way of increasing its budget. This paper analyzes this type of behavior and shows how harmful it can be.

Keywords: *Water Allocation, Water Right, Inspection and free-rider.*