

USO DO MODELO GRÁFICO PARA RESOLUÇÃO DE CONFLITOS EM PROBLEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

Jorge M. Damázio

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica; Departamento de Estatística do IME/UERJ;
Programa de Recursos Hídricos da COPPE/UFRJ

Valéria de F. Malta e Paulo Canedo de Magalhães

Programa de Recursos Hídricos da COPPE/UFRJ

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise do uso, na Gestão de Recursos Hídricos no Brasil, do modelo Modelo Gráfico para Solução de Conflitos (GMCR) desenvolvido em Fang et al. (1993). Descreve-se os principais aspectos do desenvolvimento formal do modelo GMCR, em termos de seus componentes básicos (decisores, suas opções, estratégias e preferências), conceitos chave (estado estável, estado de equilíbrio e critérios de estabilidade), e representação matemática de conflitos, através de conjuntos de grafos direcionados, e funções "payoff" referentes a cada decisor; fornecendo-se as equações para a análise de estabilidade de conflitos, com 2 decisores e com mais de 2 decisores, segundo diversos critérios de estabilidade. O trabalho apresenta uma aplicação do modelo, na análise da importância de um sistema institucional de gestão das águas na solução de uma disputa pelo uso da água, no sistema de açudes Lima Campos/Orós no Ceará, descrita em Furtado & Campos (1997).

INTRODUÇÃO

Chama a atenção no território brasileiro a quantidade de grandes e caudalosos rios, que totalizam uma produção hídrica de superfície com média de aproximadamente de 250.000 m³/s (toda a Europa produz em torno de 100.000 m³/s).

Apesar deste valor de 250.000 m³/s ser apenas um valor médio ao longo do tempo e para todo o país, existindo no Brasil regiões com baixos valores de produção hídrica de superfície (Nordeste), e ocorrendo, mesmo nas regiões mais úmidas períodos prolongados de escassez; pode-se dizer que, em termos de recursos hídricos, o Brasil se encontra em situação privilegiada. Por outro lado, o aproveitamento deste privilégio com vistas ao desenvolvimento econômico e social enfrenta além da escassez de recursos financeiros, um problema de origem que é o chamado múltiplo uso da água.

Podemos captar a água que encontramos no nosso sistema hidrográfico para, através de sistemas de abastecimento, promover o atendimento das necessidades básicas de água potável da população (abastecimento de residências) e a produção de bens e serviços (abastecimento de unidades industriais, comércio, governo, etc.). A água captada pode também ser utilizada em sistemas de irrigação para incrementar a produção de alimentos e em casas de força para a produção de energia elétrica. Podemos ainda optar por não captar a água e usá-la nos rios mesmo para promover o transporte hidroviário, a recreação, a geração de energia elétrica, a preservação de espécies e nichos ecológicos, ou a diluição de esgotos e rejeitos industriais. Qual a melhor forma de balancear os diversos usos, é um problema cuja importância tem sido reconhecida pela Análise de Sistemas de Recursos Hídricos que vem desenvolvendo técnicas de apoio a decisão que consideram o múltiplo uso de água no planejamento e gestão de recursos hídricos.

Tradicionalmente tem sido recomendado que estudos e análises visando o aproveitamento de recursos hídricos se façam percorrendo as etapas de i) definição dos objetivos, ii) formulação de medidas quantitativas dos objetivos, iii) geração de alternativas, iv) quantificação das alternativas e, v) seleção da alternativa ótima. Esta sistemática de análise tradicional, apesar de considerar a tomada de decisão com múltiplos objetivos, pressupõe situações ideais de problemas de decisão, onde existe um único decisor, responsável pela escolha da melhor distribuição dos usos d'água.

Uma idealização mais próxima da realidade de um mundo mais democrático, seria considerar múltiplos decisores instados a negociarem entre si uma solução de compromisso. Neste sentido existe um espaço para desenvolvimento e aplicação de técnicas da chamada Teoria dos Jogos.

A Teoria dos Jogos, cujas origens remontam aos trabalhos de Fermat no século XV em jogos de salão, teve suas bases mais modernas desenvolvidas por Von Newman, (1928). Desde então, diver-

Os desenvolvimentos alargaram significativamente a amplitude de tópicos e subtópicos tratados pela Teoria de Jogos, existindo, por exemplo, modelos desenvolvidos para a análise de jogos, como apenas dois jogadores e modelos mais gerais, capazes de analisar jogos com mais de dois jogadores. Os modelos são classificados também quanto ao número de ações que cada jogador pode tomar, tipos de estrutura de preferência utilizada pelo modelo (cardinais transitivas, relativas transitivas, também chamadas de ordinais, ou ainda relativas não transitivas), nível de informação dos jogadores (completa ou incompleta, perfeita ou imperfeita e simétrica ou assimétrica), possibilidade de coligações (jogos cooperativos e não cooperativos) e abordagem de modelagem da evolução temporal do jogo (modelos estáticos, superjogos e jogos diferenciais). Dentro os diversos ramos da Teoria dos Jogos destaca-se a Modelagem de Conflitos, desenvolvido primeiramente por Howard, (1971).

Conflitos e a sua modelagem

Uma situação de conflito ocorre sempre que existe disputa entre dois ou mais de dois grupos com poderes de decisão e interesses diversos. Um exemplo de conflitos, na área de recursos hídricos no Brasil, é a disputa pela transposição das águas do São Francisco onde conflitam os interesses das populações do semi-árido nordestino potencialmente beneficiárias, os interesses das populações ribeirinhas que já fazem uso das águas do São Francisco para irrigação e consumo humano e aspiram intensificar estes usos, os interesses também potencialmente prejudicados dos principais centros urbanos nordestinos que consomem a energia atualmente gerada no sistema de aproveitamentos hidroelétricos do rio São Francisco, e os interesses das empresas geradoras de energia elétrica que exploram este sistema e também planejam a sua expansão. Outro exemplo é a disputa pelo aproveitamento dos potenciais de energia elétrica no rio Xingu, que enfrenta os interesses dos índios, que habitam a região, e dos preservacionistas nacionais e internacionais.

A modelagem de conflito tem como objetivo fornecer uma conceituação aproximada de conflitos reais, destacando as suas principais características e representando-as através de uma estrutura matemática formal. Desta forma um modelo de conflito é uma ferramenta geral para o estudo sistemático de disputas em curso, disputas do passado ou disputas hipotéticas. Calibrado o modelo para um certa disputa em curso é possível estudar os possíveis movimentos e contra movimentos de cada decisor

e prever as possíveis soluções para o conflito. Os resultados da análise podem ser usados, por exemplo, para dar suporte às decisões tomadas pelas pessoas com poder real no conflito. Exemplos de questões que poderão ser respondidas são:

1. O que pode acontecer se um decisor decidir unilateralmente tomar uma opção de ação?
2. Quais são os movimentos unilaterais de um decisor cujos efeitos são irreversíveis?
3. Quais são os movimentos unilaterais de um decisor que resultam no mesmo estado final?
4. Vale a pena cooperar com outros decisores para alcançar um cenário final, benéfico para todos?
5. Existe a possibilidade de que uma decisão unilateral de um decisor que melhora a sua posição possa ser bloqueada ou sancionada por decisões de outros decisores?

Apesar do apelo das aplicações às disputas em curso, a análise de disputas históricas permite o entendimento dos erros incorridos e de como evitá-los, enquanto que a análise de disputas hipotéticas permitem o estudo das iterações estratégicas de diferentes classes de disputas (Fang et al., 1993).

Existem vários Modelos de Conflitos na literatura, que se diferenciam principalmente pela forma que representam as características de uma disputa. Howard, 1971, criou a chamada Forma das Opções (Option Form), onde as possíveis ações (opções) de cada decisor formam as unidades indivisíveis de construção do modelo. No modelo de Von Neuman & Morgenstein (1944), comumente chamado de Forma Normal (Normal Form), as unidades indivisíveis são as possíveis combinações de ações dos decisores (estratégias). Kilgour, Hipel & Fang (1987), adicionaram à Análise de Conflito a Teoria de Grafos, criando o chamado Modelo Gráfico de Conflito ou GMCR (Graph Model for Conflict Resolution). Fang et al. (1993), apresentaram uma implementação computacional do modelo GMCR. De acordo com os critérios de classificação de modelos de jogos acima citados, o modelo GMCR pode ser classificado como um modelo que é capaz de trabalhar com mais de dois jogadores e com um número qualquer finito de ações por jogador. Utiliza preferências ordinais (Fang et al., 1993 descrevem uma extensão do modelo GMCR para cobrir o uso de preferências relativas não transitivas, que no entanto não foi utilizada na implementação computacional) e su-

põe informação completa e perfeita, ou seja todas as informações estão disponíveis para todos os jogadores. É basicamente um modelo para jogos não cooperativos, mas pode modelar alguns tipos de cooperação (barganha e negociações).

Este trabalho tem como objetivo analisar a aplicação do modelo GMCR em disputas de Recursos Hídricos no Brasil. No item seguinte descrevem-se os principais aspectos do desenvolvimento formal do modelo GMCR, conforme apresentados em Fang et al. (1993), ilustrando-se a apresentação com uma aplicação hipotética. Em seguida, o modelo é utilizado para uma análise de uma disputa histórica no Ceará. Apesar da existência da situação real, a análise foi feita sob um ponto de vista de certa forma acadêmico, no sentido de que não houve a possibilidade de consultar os decisores que participaram desta disputa quanto à validade da modelagem e, em particular, às preferências adotadas. Ao final, apresentam-se as conclusões do trabalho

O MODELO GMCR

O objetivo deste item é apresentar as principais características do modelo GMCR conforme desenvolvido por Fang et al. (1993). Na primeira seção apresentam-se os principais componentes de um modelo de conflitos. Na segunda seção alguns conceitos de Teoria de Grafos são apresentados. Finalmente na terceira seção apresenta-se o modelo e na quarta sessão ilustra-se a apresentação do modelo com uma aplicação à uma disputa hipotética.

Componentes de um modelo de conflitos

Decisores - Na construção de um modelo de conflito deve-se inicialmente definir o conjunto de decisores da situação analisada. Conceitualmente, associa-se um decisor para cada grupo de pessoas potencialmente beneficiadas ou prejudicadas de alguma forma pelas possíveis soluções do conflito. A inclusão no conjunto de decisores de um representante de um dado grupo de pessoas potencialmente atingidas só deve ser feita se o grupo possui real poder de influenciar a solução do conflito. A posse de poder é em geral identificada pela existência de instituição, que instrumentaliza a defesa dos interesses, do grupo em questão. Como exemplos de instituições podemos citar as representações estaduais e blocos corporativistas no

Congresso Nacional, as representações de usuários d'água nos Comitês de Bacia, os Sindicatos, as comissões de atingidos por barragens, etc. Neste ponto vale ressaltar que nos princípios do desenvolvimento sustentável proclamados na Declaração de Dublin inclui-se a participação dos usuários nos processos de gestão de recursos hídricos. No Brasil, a Lei 9433 de 8 de janeiro de 1977 instituiu como fundamento da Política Nacional de Recursos Hídricos a gestão compartilhada dos recursos hídricos, com participação do Poder Público, usuários e comunidades.

Opções e estratégias - As opções de um decisor são as ações que ele pode ou não tomar em um conflito. A estratégia de um decisor é a sua decisão: quais das suas opções tomar e quais não tomar? O conjunto de estratégias disponíveis para um decisor é em princípio dado pelo conjunto de todas as combinações de suas decisões em relação à cada opção. No entanto, em geral, algumas das opções podem ser mutuamente exclusiva, reduzindo o número de estratégias do decisor.

Estágios e estado - Na modelagem GMCR, admite-se que os decisores podem mudar de estratégia ao longo da evolução do conflito, e cada vez que algum decisor ou conjunto de decisores muda sua estratégia, diz-se que o conflito muda de estágio.

O estado de um conflito, num certo estágio, é definido pelo conjunto de estratégias selecionadas por cada decisor. O estado do conflito é também denominado de cenário ou resultado. O conjunto de estados de um conflito é dado, em princípio, pelo conjunto de todas as combinações de estratégias dos diferentes decisores. Porém, em geral, algumas combinações de estratégias podem não ser viáveis, reduzindo-se o número de estados do conflito.

Preferências - Em um conflito, cada decisor associa ao conjunto de estados viáveis do conflito uma estrutura de preferências. De forma geral, durante a evolução do conflito, cada decisor agirá tentando fazer com o conflito evolua para os estados de sua maior preferência. As preferências podem ser transitivas ou intransitivas. Quando o estado p é preferido a q e q é preferido sobre r , então p é preferido sobre r , e quando o estado p é indiferente a q e q é indiferença a r , então p é indiferente a r , a preferência é dita transitiva. Porém, se, por exemplo, quando o estado p é preferido sobre q , e q sobre r , mas r é mais preferido que p , a preferência é dita intransitiva.

As preferências podem ser relativas ou cardinais. No caso das preferências relativas, só se pode saber se um estado é mais ou menos preferido que outro, sem, no entanto, quantificar-se esta preferência. Se as preferências são relativas e ao mesmo tempo transitivas, as preferências são ditas ordinais. No caso de preferências cardinais transitivas, o “payoff” ou valor de preferência para cada estado, é um número real.

Diversos modelos de análise de conflitos só tratam de preferências ordinais, como é o caso do modelo GMCR, e quando se deparam com preferências cardinais transitivas transformam-nas em preferências ordinais. Outros modelos de análise de conflito são projetados para tratar de preferências relativas intransitivas, como é o caso da extensão do modelo GMCR proposto por Fang et al. (1993).

Mudança ou movimento unilateral

Uma mudança unilateral ou movimento unilateral ocorre quando um decisor decide mover o conflito pela mudança de seleção de sua estratégia. Quando a mudança é feita para um estado de maior preferência denomina-se melhora unilateral.

Estado estável - Um estado é dito estável para um decisor quando ele não considera vantagem mover o conflito deste estado através de uma mudança unilateral.

Equilíbrio - Se o estado é estável para todos os decisores, este estado é uma possível solução do conflito e é denominado equilíbrio.

Crítérios de estabilidade - A definição matemática precisa, de como a estabilidade pode ser calculada, deve incluir uma descrição do possível comportamento humano ou social em uma situação de conflito, pois o ser humano pode reagir em diferentes direções na disputa. Os comportamentos característicos dos decisores correspondentes aos diversos critérios de estabilidade utilizados na literatura foram descritos em Fang et al. (1988), conforme a Tabela 1. Nesta tabela, as colunas 3 e 4 fornecem a caracterização do critério de estabilidade no sentido qualitativo, de acordo com a “visão de futuro” e a propensão a “recuo”. Na caracterização “visão de futuro”, é descrito a habilidade do decisor para considerar os possíveis movimentos que o conflito pode tomar no futuro. Se o decisor tem uma grande visão de futuro, ele imagina vários movimentos e contramovimentos, na evolução da disputa antes de tomar sua próxima decisão. Na caracterização propensão a “recuo”, se o decisor

tem um comportamento estratégico, ele admite promover uma mudança unilateral temporária para um estado pior de acordo com as suas preferências (piora unilateral), para mais tarde poder alcançar um estado de maior preferência. “Bloqueio” indica que o decisor imagina que os outros decisores promoverão, se puderem, pioras unilaterais, apenas para bloquear seus melhoramentos unilaterais.

Conceitos da Teoria de Grafo

Um grafo direcionado D é definido como um par de (V, A) , onde V é um conjunto $\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$ de elementos chamados vértices e A é um conjunto $\{a_{ij}, a_{kl}, \dots\}$ de elementos do produto cartesiano $V \times V$ chamados de arcos. Se a_{ij} é um arco e v_i e v_j são vértices tal que $a_{ij} = (v_i, v_j)$, então, diz-se que a_{ij} liga v_i a v_j , onde v_i é a calda e v_j é a cabeça de a_{ij} . Um arco com cabeça e calda iguais é chamado “loop”. Um gráfico direcionado é chamado de finito se seu conjunto de vértices é finito.

Num dado grafo D um conjunto de vértices e arcos alternados, $(v_0, a_1, v_1, \dots, a_k, v_k)$, define um caminho direcionado se para qualquer a_i , v_{i-1} é a sua calda e v_i é a sua cabeça. Uma trilha direcionada é um caminho direcionado, onde os arcos são todos distintos, e uma passagem direcionada é uma trilha direcionada onde também os vértices são distintos. Uma passagem direcionada onde v_i é o primeiro vértice e v_j é o último vértice é dita uma passagem de v_i a v_j .

A matriz adjacente A de um grafo direcionado é a matriz $n \times n$ $[a_{ij}]$, com $a_{ij} = 1$ se (v_i, v_j) é um arco de D , e $a_{ij} = 0$ no caso contrário. Se existe em D uma passagem direcionada de v_i a v_j , o vértice v_j é dito alcançável de v_i em D . A matriz de alcance R de um grafo direcionado é a matriz $n \times n$ $[r_{ij}]$, com $r_{ij} = 1$ se v_j é alcançável de v_i e $r_{ij} = 0$ no caso contrário.

Um grafo direcionado é chamado transitivo se existe um arco (v_1, v_3) sempre que arcos (v_1, v_2) e (v_2, v_3) estão em D , para três vértices distintos v_1, v_2 e v_3 quaisquer. Para um grafo direcionado transitivo, a matriz de alcance e a matriz adjacente satisfazem a seguinte equação:

$$R = A + I \quad (1)$$

onde I é a matriz identidade.

O modelo GMCR

Seja um conflito onde $N = \{1, 2, \dots, n\}$ é o conjunto de índices dos decisores e $U = \{1, 2, \dots, u\}$

Tabela 1. Caracterização de critérios de estabilidade.

Critérios de Estabilidade	Referências	Características	
		Visão de futuro	Recuo
Estabilidade de Nash	Nash (1950, 1951); Von Neumann e Morgenstern (1953);	pequeno	nunca
Metaracionalidade Geral	Howard (1971);	médio	bloqueio
Metaracionalidade Simétrica	Howard (1971);	médio	bloqueio
Estabilidade Seqüencial	Fraser e Hipel (1979, 1984);	médio	nunca
Estabilidade de L_n	Kilgour (1985); Kilgour, Hipel e Fang (1987); Zagare (1984);	variável	estratégico
Estabilidade Não Míope	Brams e Wittman (1981); Kilgour (1984, 1985); Kilgour, Hipel e Fang (1987);	grande	estratégico

o conjunto de índices dos estados do conflito. Considera-se conhecido para cada decisor i no conflito um vetor de preferências para os estados em U , também chamado de função “*payoff*”, $P_i: U \rightarrow N$, onde N é o conjunto de números naturais.

$$P_i = (P_i(1), P_i(2), \dots, P_i(u)) \quad (2)$$

No modelo GMCR, o conflito é representado por um conjunto de grafos direcionados finitos, um para cada decisor i , denotado $D_i = (U, A_i)$. O conjunto de vértices U de todos os grafos representam os estados possíveis do conflito e portanto são comuns em todos os grafos D_i . Os arcos em A_i representam transições entre os estados e são definidos levando-se em conta apenas as mudanças unilaterais possíveis para o decisor i . Ou seja, o arco (q, k) existe em A_i e somente se o decisor i pode provocar uma mudança unilateral em um estágio do estado q para o estado k . As funções “*payoff*” representam a ordem de preferência dos estados para os decisores. Ou seja, se $P_i(k) > P_i(q)$, então o estado k é preferível ao estado q para o decisor i .

O conjunto de grafos direcionados e de funções “*payoff*” constituem o Modelo Gráfico de Conflito.

Matrizes e listas de alcance dos movimentos unilaterais de um decisor - A matriz de alcance dos movimentos unilaterais de um decisor é representada por uma matriz $u \times u$ R_i , onde $R_i(k, q) = 1$, se o decisor i pode mover unilateralmente o conflito em um estágio do estado k para o estado q , $R_i(k, q) = 0$, no caso contrário e $R_i(k, k) = 0$ por convenção. Note que a matriz R_i é a matriz adjacente da teoria de grafo, mas no contexto de análise de conflitos a sua interpretação como matriz de alcance é mais interessante.

A matriz de alcance R_i representa analiticamente o grafo de um decisor i . Uma expressão equivalente das possibilidades de decisão do decisor i , são as listas de alcance dos movimentos unilaterais do decisor i , $S_i(k)$, para todo $k \in U$. Cada lista $S_i(k)$ é formada pelos estados para o qual o decisor i pode mover unilateralmente o conflito em um estágio quando o conflito está no estado k . Portanto:

$$S_i(k) = \{q: R_i(k, q) = 1\} \quad (3)$$

O conflito pode ser representado por $n.u$ listas de alcances, uma para cada decisor e estado, e n funções *payoff*.

Matrizes e listas de alcance dos melhoramentos unilaterais de um decisor

- Para representar apenas os melhoramentos unilaterais (ver definição de melhora unilateral anterior), cada matriz R_i é substituída por uma matriz R_i^+ , definida por

$$R_i^+(k, q) = 1 \text{ se } R_i(k, q) = 1 \text{ e } P_i(q) > P_i(k); \\ R_i^+(k, q) = 0 \text{ caso contrário.}$$

Analogamente as listas de alcance $S_i(k)$ são substituídas por:

$$S_i^+(k) = \{q: R_i^+(k, q) = 1\}$$

Análise de estabilidade em conflitos de dois decisores

- A seguir define-se para o modelo GMCR os critérios de estabilidade da Tabela 1 para conflitos de dois decisores, denotados i e j . Seja o problema do decisor i num estado inicial k . Se i toma a iniciativa e decide mover o conflito

para algum estado $k_1 \in S_i(k)$, então seu oponente talvez decida mover o conflito de k_1 . Dependendo do que i espera que j possa fazer em cada $k_1 \in S_i(k)$, i pode preferir não mover o conflito, mantendo-o no estado k ; se isto acontecer k é estável para i . Se um estado k é estável para os dois decisores, k é um equilíbrio, ou seja k deve persistir se ocorrer.

Estabilidade de Nash - Sob a estabilidade de Nash, o decisor i espera que o decisor j irá manter qualquer estado para onde ele mover o conflito, e consequentemente qualquer estado para onde i leve o conflito, passa a ser o estado final. O estado inicial k é portanto estável se e somente se i não pode mover o conflito de k para algum estado preferido por ele.

Definição - Seja $i \in N$. Um estado $k \in U$ é Nash estável (chamada de estabilidade racional ou estabilidade R) para o decisor i , se e somente se $S_i^+(k) = \emptyset$.

Metaracionalidade geral - Neste critério, o decisor i julga seus próprios movimentos muito conservadoramente, considerando todas as possíveis reações e ignorando suas próprias contra-reações. Basicamente o decisor espera que seu oponente j responderá bloqueando qualquer dos seus melhoramentos unilaterais (sanção) sempre que para ele for possível e que o conflito termina depois da reação de seu oponente. Note que o decisor i imagina que j sancionará seus melhoramentos, mesmo que a função *payoff* de j contra-indique. Com estas hipóteses um estado k é estável para um decisor i se e somente se j pode sancionar qualquer melhoramento unilateral de i .

Definição - Para $i \in N$, um estado $k \in U$ é metaracional geral estável (estabilidade GMR) para o decisor i se e somente se para todo $k_1 \in S_i^+(k)$ existe pelo menos um $k_2 \in S_j(k_1)$ com $P_i(k_2) \leq P_i(k)$.

Metaracionalidade simétrica - Neste conceito, em relação à metaracionalidade geral, o decisor considera um estágio a mais e analisa suas possíveis contra-reações a eventuais sanções do oponente.

Definição - Seja $i \in N$. Um estado $k \in U$ é metaracional simétrico estável (estabilidade SMR) para o decisor i , se e somente se para todo $k_1 \in S_i^+(k)$ existe $k_2 \in S_j(k_1)$, tal que $P_i(k_2) \leq P_i(k)$ e $P_i(k_3) \leq P_i(k)$ para todo $k_3 \in S_i(k_2)$.

Estabilidade sequencial - Assim como na Metaracionalidade Geral, o decisor i só analisa as possí-

veis reações do seu oponente, ignorando as suas contra-reações. A diferença está em que, na estabilidade sequencial o decisor i espera que seu oponente considere a sua própria função de *payoff* na tomada de suas decisões e, portanto, nem sempre responderá bloqueando seus melhoramentos unilaterais. Neste sentido, um estado é sequencialmente estável para um decisor se e somente se ele é impedido de tomar qualquer melhoramento unilateral deste estado porque em sequência uma ação plausível do oponente pode resultar em um estado de menor preferência (para o decisor original) que o estado inicial.

Definição - Seja $i \in N$. Um estado $k \in U$ é sequencialmente estável (estabilidade SEQ) para o decisor i se e somente se para todo $k_1 \in S_i^+(k)$ existe $k_2 \in S_j^+(k_1)$ com $P_i(k_2) \leq P_i(k)$.

Estabilidade L_h - Neste conceito assumi-se que cada decisor, ao analisar as possíveis evoluções do conflito, considera primeiro uma decisão sua, que pode ser manter o conflito no *status quo* ou movê-lo unilateralmente; depois ocorre a reação do seu oponente, o qual pode também decidir por manter o estado do conflito ou movê-lo; a seguir na sua contra-reação, o decisor original pode outra vez manter o estado ou alterá-lo; e assim por diante. Assumi-se também que existe um número de máximo de decisões (h), denominado comprimento do conflito. Na Estabilidade L_h , assumi-se que o conflito termina assim que os dois decisores decidirem não mover o conflito, ou quando o número de decisões se esgotar.

Seja k o *status quo* do conflito e que i seja o decisor com a iniciativa de decisão. Seja $G_m(i, k)$ o estado final deste conflito após m decisões.

Definição - Seja $i \in N$. Um estado $k \in U$ é L_h estável para o decisor i se e somente se $G_h(i, k) = k$.

A análise da estabilidade L_h exige o cálculo dos valores de $G_h(i, k)$, para todo $i \in N$ e para todo $k \in U$. Para o cálculo de $G_h(i, k)$ devemos primeiro lembrar que se $S_i(k) = \emptyset$ então o estado k é L_h estável e portanto precisamos verificar apenas os estados k para os quais $S_i(k) \neq \emptyset$. Suponha, portanto, k tal que $S_i(k) \neq \emptyset$. Sejam $V_h(i, k) \in U$, o maior *payoff* que o decisor i pode obter movendo o conflito do estado k e $Q_h(i, k)$, o estado para o qual ele deve mover o conflito para obter $V_h(i, k)$. Com certeza:

$$Q_h(i, k) = q^* \in S_i(k) \mid P_i(G_{h-1}(j, q^*)) = \max\{P_i(G_{h-1}(j, q)), q \in S_i(k)\} \quad (4)$$

$$V_h(i, k) = P_i(G_{h-1}(j, Q_h(i, k))) \quad (5)$$

Se as preferências do conflitos não contem estados de igual preferência, a Equação (4) acima pode ser resolvida para q^* e neste caso as Equações (4) e (5) podem ser usadas num esquema recursivo que parte de $G_0(i,k) = k$, para todo $k \in U$, e obtém $G_h(i,k)$ também para todo $k \in U$ e para qualquer $h > 0$ através de:

$$G_h(i,k) = k \text{ se } S_i(k) = \emptyset \text{ ou } P_i(k) \geq V_h(i,k) \quad (6)$$

$$G_h(i,k) = G_{h-1}(j, Q_h(i,k)) \text{ se } S_i(k) \neq \emptyset \text{ e } P_i(k) < V_h(i,k) \quad (7)$$

Quando no conflito para um certo decisor existem estados com a mesma preferência, é preciso postular um comportamento adicional. Um postulado conveniente é supor que quando i decide por um movimento unilateral ele procura minimizar o *payoff* do seu oponente sujeito à restrição de maximizar o seu próprio *payoff*. Formalmente seja $\Psi_i(k) \subseteq S_i(k)$ dado por:

$$\Psi_i(k) = \{q^* \in S_i(k) \mid P_i(G_{h-1}(j, q^*)) = \max\{P_i(G_{h-1}(j, q)), q \in S_i(k)\}\} \quad (8)$$

e agora

$$Q_h(i,k) = q^{**} \in \Psi_i(k) \mid P_j(G_{h-1}(j, q^{**})) = \min\{P_j(G_{h-1}(j, q)), q \in \Psi_i(k)\} \quad (9)$$

Usando-se (8) e (9) para definir $Q_h(i,k)$; pode-se usar (5), (6) e (7) num esquema recursivo para definir $G_h(i,k)$ começando de $G_0(i,k) = k$ para todo $k \in U$. Fang et al. (1993) comentam a convergência de $G_h(i,k)$, apresentando duas definições:

1. Um conflito tem um ponto fixo se e somente se $G_{t+1}(i,k) = G_t(i,k)$ para todos os inteiros $t \geq h$, para todo $i \in N$, para todo $k \in U$ e h é o menor inteiro com esta propriedade.
2. Um conflito entra num ciclo de período r no comprimento h se e somente se $G_{t+r}(i,k) = G_t(i,k)$ para todo $t \geq h$, para todo $i \in N$, para todo $k \in U$ e h e r são os menores inteiros com esta propriedade.

Estabilidade não míope - A Estabilidade Não Míope (estabilidade NM) corresponde ao limite da Estabilidade L_h quando h tende ao infinito.

Definição - Seja $i \in N$. Um estado $k \in U$ é não míope estável para o decisor i se e somente se existe t' inteiro e positivo tal que $G_t(i,k) = k$ para todo $t \geq t'$.

Análise de estabilidade em conflitos com $n > 2$ decisores

- Num conflito com $n > 2$ decisores o problema do decisor i num estado inicial k pode ser descrito como: Se i toma a iniciativa e decide mover o conflito para algum estado $k_1 \in S_i(k)$, então algum outro decisor j , diferente de i , pode mover o conflito de k_1 para $k_2 \in S_j(k_1)$. Dependendo da decisão de j , outro decisor p , diferente de i e p , pode optar por mover o conflito de k_2 para digamos $k_3 \in S_p(k_2)$ e assim por diante. Dependendo do que o decisor i espera que os outros decisores façam a partir de cada $k_1 \in S_i(k)$, i pode decidir manter o *status quo* k .

Listas de alcance dos movimentos unilaterais de um subconjunto de decisores H

- Seja $H \subseteq N$ um subconjunto de decisores e $S_H(k)$, para todo $k \in U$, o conjunto das listas de alcance dos movimentos unilaterais dos decisores em H . Cada lista $S_H(k)$ é formada pelos estados que podem resultar de uma seqüência de movimentos unilaterais de decisores em H , tendo o conflito partido do estado k . Note que nesta seqüência de movimentos um decisor pode ter movido o conflito mais de uma vez, porém, nunca consecutivamente. A construção das listas $S_H(k)$ pode ser feita por indução através de:

Se $k_1 \in S_H(k)$ seja $\Omega_{Hk}(k_1)$ o conjunto de possíveis últimos jogadores em seqüências de movimentos unilaterais que começam em k e terminam em k_1 .

Definição - Seja $k \in U$ e $H \subseteq N$, $H \neq \emptyset$. Um movimento unilateral de H é um membro de $S_H(k) \subseteq U$, definido indutivamente por:

- i. Se $j \in H$ e $k_1 \in S_j(k)$ então $k_1 \in S_H(k)$ e $j \in \Omega_{Hk}(k_1)$.
- ii. Se $k_1 \in S_H(k)$, $j \in H$, e $k_2 \in S_j(k_1)$ então:
 - a. se $|\Omega_{Hk}(k_1)| = 1$ e $j \notin \Omega_{Hk}(k_1)$, então $k_2 \in S_H(k)$ e $j \in \Omega_{Hk}(k_2)$;
 - b. se $|\Omega_{Hk}(k_1)| > 1$ então $k_2 \in S_H(k)$ e $j \in \Omega_{Hk}(k_2)$.

Matrizes e listas de alcance dos melhoramentos unilaterais de um conjunto de decisores

- Se ao invés de representarmos movimentos unilaterais de H , desejamos representar melhoramentos unilaterais de H , podemos substituir as listas de alcance de H , $S_H(k)$ por $S_H^+(k)$ que contem os estados que podem resultar de uma seqüência de melhoramentos unilaterais de decisores em H , começando o conflito de k . A construção das listas $S_H^+(k)$ pode ser feita por indução através de:

Se $k_1 \in S_H^+(k)$ seja $\Omega_{HK}^+(k_1)$ o conjunto de possíveis últimos jogadores em seqüências de melhoramentos unilaterais que começam em k e terminam em k_1 .

Definição - Seja $k \in U$ e $H \subseteq N$, $H \neq \emptyset$. Um melhoramento unilateral de H é um membro de $S_H^+(k) \subseteq U$, definido indutivamente por:

- i. Se $j \in H$ e $k_1 \in S_j^+(k)$ então $k_1 \in S_H^+(k)$ e $j \in \Omega_{HK}^+(k_1)$.
- ii. Se $k_1 \in S_H^+(k)$, $j \in H$, e $k_2 \in S_j^+(k_1)$ então:
 - a. se $|\Omega_{HK}^+(k_1)| = 1$ e $j \notin \Omega_{HK}^+(k_1)$, então $k_2 \in S_H^+(k)$ e $j \in \Omega_{HK}^+(k_2)$;
 - b. se $|\Omega_{HK}^+(k_1)| > 1$ então $k_2 \in S_H^+(k)$ e $j \in \Omega_{HK}^+(k_2)$.

Estabilidade de Nash - Como sob a estabilidade de Nash, o decisor i não analisa as reações possíveis esperando que todos os outros decisores irão manter qualquer estado para onde ele mover o conflito, não existe diferença entre conflitos com dois ou mais de dois decisores.

Definição - Seja $i \in N$. Um estado $k \in U$ é Nash estável (estabilidade R) para o decisor i , se e somente se $S_i^+(k) = \emptyset$.

Metaracionalidade geral - Neste critério o decisor espera que algum dos outros decisores responderá bloqueando qualquer dos seus melhoramentos unilaterais (sanção) sempre que para ele for possível e que o conflito termina depois da decisão de algum deles.

Definição - Para $i \in N$, um estado $k \in U$ é metaracional geral estável (estabilidade GMR) para o decisor i se e somente se para todo $k_1 \in S_i^+(k)$ existe pelo menos um $k_x \in S_{N-i}(k_1)$ com $P_i(k_x) \leq P_i(k)$.

Metaracionalidade simétrica - Neste conceito, em relação à metaracionalidade, o decisor considera um estágio a mais quando ele poderá contra-reagir às eventuais sanções impostas por algum dos outros decisores.

Definição - Seja $i \in N$. Um estado $k \in U$ é metaracional simétrico estável (estabilidade SMR) para o decisor i , se e somente se para todo $k_1 \in S_i^+(k)$ existe $k_x \in S_{N-i}(k_1)$, tal que $P_i(k_x) \leq P_i(k)$ e $P_i(k_3) \leq P_i(k)$ para todo $k_3 \in S_i(k_x)$.

Estabilidade seqüencial - Neste conceito um estado é seqüencialmente estável para um decisor

se, e somente se ele, é impedido de tomar qualquer melhoramento unilateral deste estado, porque uma seqüência de melhoramentos unilaterais plausível dos outros decisores pode resultar em um estado de menor preferência (para o decisor original) que o estado inicial.

Definição - Seja $i \in N$. Um estado $k \in U$ é seqüencialmente estável (estabilidade SEQ) para o decisor i se e somente se para todo $k_1 \in S_i^+(k)$ existe $k_x \in S_{N-i}^+(k_1)$ com $P_i(k_x) \leq P_i(k)$.

Estabilidade L_h - Na seção de análise da estabilidade de conflitos com dois decisores a estabilidade L_h foi definida usando-se a função $G_m(i, k)$. Esta função pode ser generalizada para o caso de $n > 2$ decisores incluindo-se na análise alguns postulados adicionais. Basicamente assume-se que o decisor com a iniciativa imagina conservadoramente que o conflito evoluirá para o menos preferido dos estados que podem ocorrer como resultado das iniciativas dos outros decisores. Deve-se considerar se o decisor original pode ou não tomar parte na seqüência de melhoramentos unilaterais, existindo dois tipos de estabilidade L_h no caso de mais dois decisores:

Tipo 1 - O decisor original pode tomar parte na seqüência de melhoramentos unilaterais que segue sua decisão.

Seja k o *status quo* do conflito e i o decisor com a iniciativa de decisão. Seja $G_m(i, k)$ o estado final deste conflito após m decisões.

Definição - Seja $i \in N$. Um estado $k \in U$ é L_h estável para o decisor i (caso 1) se e somente se $G_h(i, k) = k$.

Para o cálculo de $G_h(i, k)$ devemos considerar $h = 1$. Se $S_i(k) \neq \emptyset$ então o decisor i antecipa que o melhor que ele pode obter movendo o conflito de k para $Q_1(i, k)$ é $V_1(i, k)$ definido por:

$$Q_1(i, k) = q^* \in S_i(k) \mid P_i(q^*) = \max\{P_i(q), q \in S_i(k)\} \quad (10)$$

$$V_1(i, k) = P_i(Q_1(i, k)) \quad (11)$$

A racionalidade de i indica que:

$$G_1(i, k) = k \text{ se } S_i(k) = \emptyset \text{ ou } P_i(k) \geq V_1(i, k) \quad (12)$$

$$G_1(i, k) = Q_1(i, k) \text{ se } S_i(k) \neq \emptyset \text{ e } P_i(k) < V_1(i, k) \quad (13)$$

Para $h > 1$, o postulado do resultado menos preferido implica que i antecipa que se ele se

mover do *status quo* o estado final do conflito será dado por $G_{h-1}^m(i,k)$ dado por:

$$G_{h-1}^m(i,k) = G_{h-1}(w,k) \quad (14)$$

onde $w \in N-i$ satisfaz a

$$P_i(G_{h-1}(w,k)) = \min\{P_i(G_{h-1}(j,k)), j \in N-i\} \quad (15)$$

Obtido $G_{h-1}^m(i,k)$, $G_h(i,k)$ é obtido por:

Se $S_i(k) \neq \emptyset$

$$Q_h(i,k) = q^* \in S_i(k) \mid P_i(G_{h-1}^m(i,q^*)) = \max\{P_i(G_{h-1}^m(i,q)), q \in S_i(k)\} \quad (16)$$

$$V_h(i,k) = P_i(G_{h-1}^m(i, Q_h(i,k))) \quad (17)$$

E finalmente $G_h(i,k)$ pode ser obtido por:

$$G_h(i,k) = k \text{ se } S_i(k) = \emptyset \text{ ou } P_i(k) \geq V_h(i,k) \quad (18)$$

$$G_h(i,k) = G_{h-1}^m(i, Q_h(i,k)) \text{ se } S_i(k) \neq \emptyset \text{ e } P_i(k) < V_h(i,k) \quad (19)$$

O algoritmo acima não resolve conflitos quando para algum decisor, existem estados igualmente preferidos. Por exemplo, em (15) o decisor i pode ter que escolher entre dois estados igualmente preferidos mas para o qual existe algum outro decisor cujas preferências para estes estados diferem. Na falta de um critério podemos escolher o primeiro estado encontrado que minimiza a preferência do decisor i .

Tipo 2 - O decisor original não pode tomar parte na sequência de melhoramentos unilaterais que segue sua decisão.

Este tipo de estabilidade L_h corresponde à estabilidade L_h tipo 1 para o conflito sem o decisor i . Seja $G_{h-1}^{N-i}(j,k)$ o vetor $G_{h-1}(j,k)$ para o conflito sem o decisor i . Então $G_{h-1}^{N-i}(j,k)$ para $h > 1$ e $j \in N-i$ pode ser usado para obter $G_h(i,k)$. Para $h = 1$ usaram-se as Equações (10) a (13). Para $h > 1$, o postulado do resultado menos preferido implica que:

$$G_{h-1}^m(i,k) = G_{h-1}^{N-i}(w,k) \quad (20)$$

onde $w \in N-i$ satisfaz a

$$P_i(G_{h-1}^{N-i}(w,k)) = \min\{P_i(G_{h-1}^{N-i}(j,k)), j \in N-i\} \quad (21)$$

Obtido $G_{h-1}^m(i,k)$, $G_h(i,k)$ é obtido por (16) a (19).

Definição - Seja $i \in N$. Um estado $k \in U$ é L_h estável para o decisor i (caso 2) se e somente se $G_h(i,k) = k$.

Estabilidade não míope - Assim como no caso de dois decisores a Estabilidade Não Míope para mais de dois decisores corresponde ao limite da Estabilidade L_h quando h tende ao infinito.

Definição - Seja $i \in N$. Um estado $k \in U$ é não míope estável para o decisor i se e somente se existe t' inteiro e positivo tal que $G_t(i,k) = k$ para todo $t \geq t'$.

Como a definição de estabilidade L_h para conflitos com mais de dois decisores tem dois tipos a Estabilidade não-míope para conflitos com mais de dois decisores também tem dois tipos.

Ilustração

Para ilustrar a apresentação do modelo GMCR vamos considerar uma disputa hipotética pelo uso d'água de um rio Rafa que faz divisa entre duas fazendas e cuja vazão, na estiagem, não atende à demanda dos dois fazendeiros existindo a possibilidade de construção, em condomínio, de um reservatório, a montante que regularize o regime hidrológico do rio, garantindo assim, o atendimento das demandas dos dois fazendeiros no período de estiagem. Por outro lado, cada fazendeiro pode, também, construir um reservatório próprio em suas terras e desviar a água do rio em direção a este reservatório e depois usá-la privadamente. Neste caso, o outro fazendeiro requer indenização sempre que houver uma estiagem. Vale observar que, enquanto que, a construção do reservatório em condomínio exige uma negociação demorada, em torno da repartição dos seus custos de construção e de operação e manutenção, a construção de seu reservatório privado depende apenas da decisão do fazendeiro.

Para a modelagem desta disputa considera-se como decisores os fazendeiros com as opções da Tabela 2. Nesta tabela, a opção quanto a apoiar a construção de um reservatório em condomínio indica, se declarar interessado em participar, ou não de negociações em torno da divisão dos custos sem necessariamente decidir construir o reservatório em condomínio. Evidentemente apenas nos estados da disputa em que os dois fazendeiros optarem por apoiar a construção do reservatório privado, as negociações poderão avançar. Na Tabela 2 aparece também o *status quo*

Tabela 2. Disputa do rio Rafa: decisores, suas opções, e status quo.

Decisor	Opções	Status Quo
1	Apoiar a construção de reservatório em condomínio;	N
	Construir reservatório privado.	N
2	Apoiar a construção de reservatório em condomínio;	N
	Construir reservatório privado.	N

considerado, ou seja a situação da disputa onde nenhum dos dois fazendeiros optaram por construir um reservatório privado e também não apoiam a construção de um reservatório em condomínio. O interesse da ilustração é estudar as condições para a estabilidade das negociações em torno da construção do reservatório em condomínio.

Em termos de estratégias a modelagem admite que cada decisor pode decidir apoiar a construção do reservatório em condomínio e, ao mesmo tempo, construir o seu reservatório privado de forma a aumentar a sua proteção contra estiagens mais profundas e/ou prolongadas. As estratégias de cada decisor estão apresentadas na Tabela 3 onde também aparece o *status quo*.

A Tabela 4 apresenta a lista de 16 estados possíveis para a disputa do rio Rafa, formada por todas as combinações de estratégias da Tabela 3. Esta tabela apresenta também, as listas de alcance. Em geral, na construção das listas de alcance, imagina-se que cada decisor só pode mover unilateralmente o conflito alterando apenas suas opções. Outro ponto a ser considerado, na construção das listas de alcance, é a questão da reversibilidade das decisões. Nos casos estudados consideramos que qualquer das decisões são reversíveis. Ou seja, um fazendeiro que apoiava a construção de um reservatório em condomínio pode retirar seu apoio e mais tarde voltar a apoiar. Mais polêmico, conforme citado acima, vamos considerar que um fazendeiro que construiu seu reservatório privado pode optar mais adiante por destruí-lo e a seguir voltar a construí-lo. Uma justificativa para esta opção de modelagem seria a representação da renúncia de desvio da água do rio para o reservatório. Neste caso estamos supondo que, depois que o reservatório foi desativado, a sua reativação exigiria um esforço não muito diferente que o da sua construção e, portanto, a situação do fazendeiro, que no passado construiu um reservatório privado e vem optando por não desviar o rio, não é diferente da situação do fazendeiro que ainda não construiu um reservatório privado.

Tabela 3. Disputa do rio Rafa: decisores, suas estratégias, e status quo.

Decisor	Estratégias	Status Quo
1	(NN), (SN), (NS), (SS)	(NN)
2	(NN), (SN), (NS), (SS)	(NN)

Para a análise da disputa do rio Rafa vamos considerar um caso base e outro alternativo, diferenciado do caso base em relação à avaliação individual de cada fazendeiro da decisão de construir seu reservatório privado. No caso base, a decisão quanto à construir seu próprio reservatório é mais interessante para o fazendeiro 1 do que para o fazendeiro 2. Casos em que esta hipótese pode ser adotada, incluem situações nas quais a topografia do terreno do fazendeiro 1 é mais favorável, reduzindo os custos de construção e com perdas de terras férteis não tão grandes. Pode acontecer também que, o processo de cultivos do fazendeiro 1, seja mais vulnerável que o processo de cultivo do fazendeiro 2 aos efeitos da estiagem. No caso da conjugação dos dois fatores, para o fazendeiro 2, que possui um cultivo não tão vulnerável aos efeitos da estiagem e para quem a construção de seu reservatório privado significa substancial perda de terras férteis, a construção de um reservatório privado não parece tão atraente. A Tabela 4 apresenta as funções *payoff* de cada decisor em cada caso (base e alternativo), cuja construção foi discutida em Malta (2000).

Vale observar que nos dois casos, Base e Alternativo, para os dois fazendeiros, o pior dos estados (valor da função *payoff* igual à 1) é o *status quo*. Também nos dois casos, os dois fazendeiros tem como estado preferencial (*payoff* igual à 16) um estado em que apenas o seu oponente construiu um reservatório privado. Desta forma sem investir um centavo, sem arcar com os custos de operação de manutenção de um reservatório, e sem inundar nenhuma parcela de seu terreno, o fazendeiro consegue manter seus rendimentos mesmo nas estiagens. É importante ainda na definição do estado preferencial, que ele esteja apoiando a construção de um reservatório em condomínio e seu oponente não, de forma a aumentar as suas chances de obter na justiça a indenização.

Nos dois casos, os dois estados abaixo do estado de maior preferência no ordenamento dos dois fazendeiros diferem simetricamente: considera-se para os dois decisores os estados em que apenas o seu oponente já tenha construído o reservatório privado e, em ordem: ninguém esteja

Tabela 4. Disputa do rio Rafa: estados, listas de alcance e funções *payoff*.

q	Estado	S ₁ (q)	S ₂ (q)	P ₁ (q)		P ₂ (q)
				Base	Alternativo	
1	(NN) x (NN)	{5,9,13}	{2,3,4}	1	1	1
2	(NN) x (SN)	{6,10,14}	{1,3,4}	2	12	11
3	(NN) x (SS)	{7,11,15}	{1,2,4}	3	10	8
4	(NN) x (NS)	{8,12,16}	{1,2,3}	15	15	4
5	(SN) x (NN)	{1,9,13}	{6,7,8}	4	11	12
6	(SN) x (SN)	{2,10,14}	{5,7,8}	6	13	13
7	(SN) x (SS)	{3,11,15}	{8,6,5}	14	14	7
8	(SN) x (NS)	{4,12,16}	{7,6,5}	16	16	3
9	(SS) x (NN)	{13,5,1}	{10,11,12}	9	8	10
10	(SS) x (SN)	{14,2,6}	{9,11,12}	7	7	14
11	(SS) x (SS)	{15,7,3}	{12,10,9}	11	6	6
12	(SS) x (NS)	{16,4,8}	{11,9,10}	13	9	2
13	(NS) x (NN)	{9,1,5}	{14,15,16}	8	4	15
14	(NS) x (SN)	{10,2,6}	{13,15,16}	5	3	16
15	(NS) x (SS)	{11,7,3}	{16,13,14}	10	2	9
16	(NS) x (NS)	{12,4,8}	{15,13,14}	12	5	5

apoiando (*payoff* igual à 15), os dois estejam apoiando a construção do reservatório em condomínio (*payoff* igual à 14).

Por outro lado, a partir do valor de *payoff* igual à 14, apenas no caso alternativo as preferências continuam a diferir de uma forma simétrica. Por exemplo, para o quarto lugar da preferência (*payoff* igual à 13) para o fazendeiro 1, que valoriza nos dois casos a construção de seu reservatório privado, o estado de *payoff* igual à 13 vai para o estado onde ele e o seu oponente já construíram o seu reservatório privado e ele esteja apoiando, e seu oponente não, a construção do reservatório em condomínio. No caso base, para o fazendeiro 2, que valoriza menos a construção de seu reservatório privado, o estado de *payoff* igual à 13 é o estado onde ninguém construiu seu reservatório privado e os dois apoiam a construção do reservatório em condomínio.

Análise de estabilidade - Para a análise do conflito do Rio Rafa utilizou-se a implementação computacional do modelo GMCR desenvolvida por Fang et al. (1993).

Caso base - A Tabela 5 apresenta os possíveis estados de equilíbrios obtidos para a análise do conflito no caso base. Como pode-se notar a situação do conflito deverá mudar já que o *status quo* (estado 1) não é estável em nenhum dos critérios de estabilidade. Existem dois estados de equilíbrio,

os estados 10 e 13. Nos dois estados, apenas o fazendeiro 1 constrói seu reservatório privado, resultado racional para esta disputa, tendo em vista que este reservatório agrada os dois fazendeiros. No estado 10, os dois fazendeiros estão apoiando a construção do reservatório em condomínio, e no estado 13 nenhum dos dois fazendeiros apoiam a construção do reservatório em condomínio. Se a visão de futuro dos fazendeiros for grande, apenas o estado 13 é estável.

Para os dois fazendeiros o estado 13 é preferido ao estado 10, ou seja, vale mais a pena para os dois fazendeiros desistirem de construir o reservatório em condomínio. É fácil descrever uma possível evolução desta disputa a partir do *status quo*, em direção ao estado 13. Basta o fazendeiro 1 tomar a iniciativa e construir seu reservatório privado e começar a operá-lo, levando a disputa imediatamente para o estado 13. Neste caso, as negociações em torno da construção do reservatório em condomínio não deverão nunca se iniciar. Note que na lista de alcance do fazendeiro 1 para o estado 1, o estado 13 é o estado de maior preferência para o fazendeiro 1.

Por outro lado, segundo o modelo, se a disputa atingir o estado 10, se os dois fazendeiros tiverem pouca visão de futuro, o estado 10 permanecerá. Uma possível evolução, para o estado 10, corresponde ao fazendeiro 2 tomar a iniciativa e levar a disputa para o seu estado preferido a partir do *status quo* (estado 2), convidando seu vizinho para iniciar negociações em torno da construção do

Tabela 5. Disputa do rio Rafa; caso base: estados de equilíbrio.

Estado (q)	Critério										
	R	GMR	SMR	SEQ	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	NM	ST
10	E	E	E	E	E	E	E	E	2	2	E
13		E	E	E		E	E	E	E	E	

Nota: A estabilidade L_n tem um ponto fixo em h=6.

reservatório, em condomínio. O fazendeiro 1 responde aceitando o convite para negociar a construção do reservatório em condomínio, mas em paralelo constrói seu reservatório privado. A disputa atinge o estado 10. No estado 10 não existe melhoramento unilateral possível para os dois fazendeiros. Sem visão de futuro, o estado 10 é estável, e as negociações em torno da construção do reservatório em condomínio tendem a prosseguir. A Tabela 6 mostra uma possível evolução da disputa a partir do estado 10, supondo que os dois fazendeiros passem a analisar o problema com uma ampla visão de futuro. Na primeira evolução, o fazendeiro 1 suspende o desvio de água para o seu reservatório, levando estrategicamente a disputa para um estado de sua menor preferência. O fazendeiro 2 responde também, estrategicamente, retirando-se da mesa de negociações em torno da construção do reservatório em condomínio. Na última transição, o fazendeiro 1, reinicia o desvio da água para o seu reservatório e concomitantemente desiste de apoiar a construção dos dois reservatórios.

Caso alternativo - A Tabela 7 apresenta os possíveis estados de equilíbrio no caso alternativo.

Pode-se notar, no caso alternativo, o equilíbrio do estado 6, onde os dois fazendeiros se sentam para negociar a construção do reservatório em condomínio, decisão mais racional dos dois, já que nenhum dos dois conseguirá levar o outro a construir o seu reservatório privado, ficando sujeito a pagar indenizações durante as estiagens. Interessante notar que, de acordo com os equilíbrios conservadores e míopes GMR e SMR, os estados 2 e 5, onde apenas um dos fazendeiros apóia a construção do reservatório em condomínio, são estados estáveis. De acordo com este critérios sempre que um fazendeiro move o conflito do *status quo*, convidando o seu vizinho para conversar sobre a construção do reservatório em condomínio, seu vizinho evita entrar em negociações, já que supõe que o outro imediatamente abandone as negociações. Como pelas preferências adotadas um fazendeiro prefere o estado que o outro esteja apoiando a construção do reservatório em condo-

Tabela 6. Disputa do rio Rafa; caso base: evolução do estado 10 para o estado 13.

Decisor	Estado			
	10	6	5	13
1	S	S	S→	N
	S→	N	N	S
P ₁	7	6	4	8
2	S	S→	N	N
	N	N	N	N
P ₂	14	13	12	15

mínio e ele ainda não ao estado em que ele apóia sozinho a construção do reservatório em condomínio, os estados 2 e 5 são estáveis de acordo com os equilíbrios míopes e conservadores GMR e SMR.

Em conclusão, a análise dos resultados dos dois em conjunto mostra um padrão interessante. No caso base, onde a atratividade do reservatório privado varia de um fazendeiro para o outro, as negociações em torno da construção do reservatório em condomínio não são estáveis, havendo maior convergência de interesse na construção do reservatório privado do fazendeiro, que valoriza mais seu reservatório, sendo que o outro fazendeiro também terá benefícios. Já no caso onde a atratividade do reservatório privado é a mesma, as negociações em torno da construção do reservatório em condomínio se mostram bastante estáveis.

Finalmente vale notar que esta ilustração hipotética tem alguma semelhança com o que ocorre no Brasil, no que diz respeito a construção de reservatórios de múltiplos usos. Em geral, a atratividade de reservatórios para um único uso são muito maiores para o setor elétrico, e os outros setores usuários da água também obtém alguns benefícios com a construção dos reservatórios do setor elétrico.

Tabela 7. Disputa do rio Rafa; caso alternativo: estados de equilíbrio.

Estado (q)	Critério							
	R	GMR	SMR	SEQ	L ₁	L ₂	NM	ST
2	2	E	E	2	2			
5	1	E	E	1	1			
6	E	E	E	E	E	E	E	E

Nota: A estabilidade L_h tem um ponto fixo em $h=3$.

O CONFLITO DO SISTEMA LIMA CAMPOS/ORÓS

Conforme Furtado & Campos (1997), o açude Lima Campos foi construído pelo DNOCS (Departamento Nacional de Obras contra as secas), em 1932 com capacidade para acumular 66 milhões de m^3 , sendo alimentado pelo Rio São João que tem área de drenagem de $354 km^2$. A área de vazante junto ao açude Lima Campos, foi beneficiada pela política do DNOCS, para aproveitamento do potencial hídrico e uso do solo. Além do açude houve a implantação de uma área de irrigação à jusante.

O açude Orós foi construído, pelo DNOCS, entre 1960 e 1962. Com capacidade de 1,94 bilhões de m^3 , é drenado por uma bacia de $25.000 km^2$. O Túnel Orós - Lima Campos foi concluído em 1962. Conta com um canal de acesso, na bacia hidráulica do Orós, com extensão de 1384 m, um trecho central, em túnel que atravessa uma pequena serra, com extensão de 1584 m, e um trecho a jusante com extensão de 1160 m denominado Canal de Fuga. Este sistema foi concebido com o objetivo de perenizar o rio Jaguaribe e promover a colonização e o desenvolvimento agrícola da planície aluvial do Icó (10.000 ha), localizada a jusante do açude Lima - Campos entre os rios Salgado e Jaguaribe.

Na década de 1970, o DNOCS através do (PPI) Programa Plurianual de Irrigação, projetou e implantou cerca de 3.500 ha de área de irrigação nas várzeas da Planície de Icó.

Gestão dos recursos hídricos

Ainda conforme Furtado & Campos, (1997), o sistema de gestão do sistema Lima Campos/Orós se divide em duas instituições, o DNOCS, órgão federal que controla as águas em estoque nos açudes de Orós e Lima Campos (água de domínio federal) e a COGERH (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos), que administra os rios estadu-

ais, Jaguaribe, São João e Salgado, e organiza os Comitês de Bacias Hidrográficas.

Os usuários vazanteiros se agrupam em torno da Cooperativa de Lima Campos - COLIMA, que além da administração da produção agrícola e a sua comercialização, representa os interesses do grupo no Comitê de Bacias Hidrográficas.

Os irrigantes que utilizam a água, na Planície do Icó, se agrupam na Associação do Distrito de Irrigação de Icó Lima Campos - ADICOL, que além de representar os interesses do grupo no Comitê de Bacias, administra e cobra a distribuição de água entre os irrigantes.

No início da implantação dos açudes não existia conflitos entre os vazanteiros e irrigantes, já que a água era suficiente para todos, sem preocupação com a contaminação da água, pois não havia o uso intensivo de defensivos agrícolas pelos usuários do sistema.

Já na década de 70, com a implantação da Planície do Icó, o uso do túnel Orós - Lima Campos passou a ser mais intenso, porém os gestores do sistema (DNOCS), conseguiram evitar um conflito entre vazanteiros e irrigantes.

Em 1989, teve início o período de secas hidrológicas, que duraram até o ano de 1997. Diante dessa situação, houve o aumento da vazão liberada pelo açude Orós, acelerando o esvaziamento do açude, e consequentemente a queda do nível d'água do Lima Campos. O nível d'água, em Orós, ficou abaixo da cota de 189 (nível necessário para alimentar por gravidade o Lima Campos).

O conflito

Os irrigantes e os beneficiários da perenização dos rios de domínio estadual sofrem com a escassez da água no período de seca, e reivindicam um alto nível no Lima Campos para aumentar a sua garantia de água. Já os vazanteiros, apesar de também sofrerem os efeitos das secas, com a manutenção de níveis altos no Lima Campos sofrem perda de área para irrigação, com prejuízo de sua produção agrícola.

No conflito o COGERH age como árbitro entre vazanteiros, irrigantes e usuários beneficiados pela perenização dos rios de domínio estadual.

Os vazanteiros pretendem manter o volume do açude em 33 milhões de m^3 e os irrigantes reivindicam 50 milhões de m^3 . Em uma reunião que durou cinco horas no dia 26 de maio de 1995, houve o acordo de manter o nível com um volume de 39,5 milhões de m^3 .

Análise do conflito

Para esta aplicação, de análises de conflitos, foi considerada a situação antes da reunião do dia 26 de maio de 1995. Apesar da existência da situação real, a análise aqui apresentada é feita sob um ponto de vista de certa forma acadêmico, no sentido de que não houve a possibilidade de consultar os decisores, que participaram desta disputa quanto a validade da modelagem e, em particular, das preferências adotadas.

A Tabela 8 apresenta os decisores do conflito e o *status quo*. A Tabela 9 apresenta as estratégias de cada decisor. O COGERH, tem 4 estratégias: decidir em favor da reivindicação dos vazanteiros, decidir em favor da reivindicação dos irrigantes, decidir em favor de uma solução de compromisso entre as reivindicações de vazanteiros e irrigantes, ou não decidir. Vazanteiros e irrigantes têm como estratégias se conformar com a decisão da COGERH ou com a não decisão da COGERH, ou não.

A Tabela 10 mostra os estados possíveis do conflito e as listas de alcance de cada decisor.

Nesta tabela, o *status quo* é representado pelo último estado, $q = 16$. Os três primeiros estados são os estados que contam com a aceitação da decisão do COGERH, tanto pelos irrigantes quanto pelos vazanteiros. Se a reunião terminar no quarto estado, a interpretação é que irrigantes e

vazanteiros suspendem suas pressões e concordam em deixar o COGERH decidir unilateralmente depois da reunião qual o nível mais adequado para o açude. Nos estados restantes, pelo menos um, dentre irrigantes e vazanteiros, não concorda com o desfecho da reunião, e continuarão a fazer pressão. A eventual estabilidade, dos 4 primeiros estados, indica uma possibilidade de solução do conflito durante a reunião. A eventual estabilidade de algum outro estado indica uma possibilidade da reunião terminar sem solução do conflito.

A lista de alcance ($Si(q)$) de cada decisor foi construída a partir dos movimentos possíveis pelos decisores de um dado estado para outro. Consideramos todos os movimentos reversíveis.

Podemos observar que, por exemplo, os vazanteiros só podem mover o conflito do estado $q = 16$ (*status quo*) para o estado $q = 8$, e deste ele só pode voltar para o estado 16. Os irrigantes também não tem muitas opções de mudança de estado. Já o COGERH tem mais opções de mudança, podendo de cada estado se mover para outros 3 estados.

Para as preferências, considerou-se que o COGERH está interessado na solução do conflito, e portanto, gostaria de sair da reunião com alguma decisão tomada que tenha a conformação tanto dos vazanteiros quanto dos irrigantes. No entanto, as preferências da COGERH diante do dilema de sair da reunião sem uma decisão tomada ou com uma decisão tomada, que não tenha a conformação de vazanteiros e irrigantes, é polêmica. Adotou-se duas hipóteses. No primeiro caso, a COGERH prefere não tomar decisão nenhuma, na reunião a tomar uma decisão, que não conte com a conformação de irrigantes e de vazanteiros. No segundo caso, a COGERH prefere sair da reunião com uma decisão que não conte com a conformação de irrigantes e ou de vazanteiros a sair da reunião sem uma decisão. Em relação às preferências da COGERH, um outro ponto interessante dessa

Tabela 8. Disputa do sistema Lima Campos/Orós: decisores, suas opções, e *status quo*.

Decisor	Nome	Opções	Status Quo
1	Vazanteiros	Aceitar decisão da COGERH	N
2	Irrigantes	Aceitar a decisão da COGERH	N
3	COGERH	Manter volume do açude numa posição de compromisso;	N
		apoiar os vazanteiros mantendo o nível do açude em 33 milhões de m^3 ;	N
		apoiar os irrigantes mantendo o nível do açude em 50 milhões de m^3 .	N

Tabela 9. Disputa do sistema Lima Campos/Orós: decisores, suas estratégias, e status quo.

Decisor	Estratégias	Status Quo
1	(S), (N)	(N)
2	(S), (N)	(N)
3	(SNN),(NSN),(NNS),(NNN)	(NNN)

Tabela 10. Conflito Lima Campos/Orós: estados, listas de alcance.

Q	Estado	S ₁ (q)	S ₂ (q)	S ₃ (q)
1	(S) x (S) x (SNN)	{9}	{5}	{2,3,4}
2	(S) x (S) x (NSN)	{10}	{6}	{1,3,4}
3	(S) x (S) x (NNS)	{11}	{7}	{1,2,4}
4	(S) x (S) x (NNN)	{12}	{8}	{1,2,3}
5	(S) x (N) x (SNN)	{13}	{1}	{6,7,8}
6	(S) x (N) x (NSN)	{14}	{2}	{5,7,8}
7	(S) x (N) x (NNS)	{15}	{3}	{5,6,8}
8	(S) x (N) x (NNN)	{16}	{4}	{5,6,7}
9	(N) x (S) x (SNN)	{1}	{13}	{10,11,12}
10	(N) x (S) x (NSN)	{2}	{14}	{9,11,12}
11	(N) x (S) x (NNS)	{3}	{15}	{9,10,12}
12	(N) x (S) x (NNN)	{4}	{16}	{9,10,11}
13	(N) x (N) x (SNN)	{5}	{9}	{14,15,16}
14	(N) x (N) x (NSN)	{6}	{10}	{13,15,16}
15	(N) x (N) x (NNS)	{7}	{11}	{13,14,16}
16	(N) x (N) x (NNN)	{8}	{12}	{13,14,15}

disputa é que a COGERH, como um órgão do Governo do Ceará, tem como objetivo perenizar rios estaduais, e portanto considerou-se que a COGERH gostaria de manter o açude em níveis altos.

Conforme discutido acima, quando vazanteiros e ou irrigantes não se conformam com a posição da COGERH, a reunião termina sem solução do conflito, já que os não conformados continuarão a pressionar no sentido de ter sua reivindicação atendida. Evidentemente, vazanteiros e irrigantes não apreciam se conformar com decisões da COGERH em favor dos níveis reivindicados por seus oponentes. Uma questão polêmica é as preferências de vazanteiros e irrigantes quando colocados diante das possibilidades da decisão da COGERH em favor da solução de compromisso ou de sair da reunião sem decisão tomada, o que pode provocar outra reunião ou uma decisão unilateral da COGERH. Considerou-se que os vazanteiros preferem uma decisão da COGERH em favor da solução de compromisso à situação de sair da

reunião sem decisão da COGERH. Já para os irrigantes são feitas duas hipóteses. Na primeira eles também preferem uma decisão em favor da solução de compromisso mas na segunda eles preferem sair da reunião sem decisão tomada apostando na responsabilidade da COGERH na perenização dos rios estaduais.

Compondo-se as duas hipóteses feitas em relação às preferências da COGERH e dos irrigantes, obtém-se 4 casos para análise. A Tabela 11 apresenta as funções de preferência de cada decisor para os 4 casos analisados. A construção desta função é detalhada em Malta (2000). Pode-se que notar que os 4 estados que representam a solução do conflito na reunião ($q = 1, 2, 3, 4$) são diferentemente preferidos pelos decisores. O estado $q = 1$, resultado histórico, correspondente à solução do conflito com decisão pelo nível de compromisso é bem valorizado pelos vazanteiros e pela COGERH. Os irrigantes desvalorizam esta solução nos casos 3 e 4. O estado $q = 2$, correspondente à solução do conflito pelo nível mais baixo, em todos os casos é o estado mais valorizado pelos vazanteiros e o menos valorizado pelos irrigantes. Este estado é bem valorizado pela COGERH em todos os casos. O estado $q = 3$, correspondente à solução do conflito pelo nível mais alto é o estado mais valorizado por irrigantes e COGERH e o menos preferido pelos vazanteiros. O *status quo* ($q = 16$) tem uma preferência mediana de vazanteiros. Para os irrigantes, a preferência pelo *status quo* cresce nos casos 2 e 4. Para a COGERH, o *status quo* é o estado menos preferido nos casos 3 e 4, mas nos casos 1 e 2 tem alta preferência.

Análise de estabilidade - A Tabela 12 apresenta os estados estáveis do conflito Lima Campos/Orós, de acordo com o todos os critérios de estabilidade (para os critérios L_h e NM apresenta-se apenas o tipo 1), segundo os 4 casos considerados. Estes resultados foram obtidos utilizando-se a implementação computacional do modelo GMCR desenvolvida por Fang et al., (1993). Um dos interesses da análise é verificar a estabilidade dos 4 primeiros estados da Tabela 10, que correspondem à estados onde a reunião resolve o conflito, com destaque para o estado $q = 1$, que foi o resultado histórico da reunião.

Podemos observar que a solução do conflito através do resultado histórico ($q = 1$) só é estável para os dois casos em que os irrigantes valorizam a solução de compromisso, casos 1 e 3. No entanto no caso 1, onde a COGERH está mais preocupada em obter um acordo do que em tomar uma decisão, o *status quo* é estável, indicando que a reunião deveria terminar sem decisão quanto ao

Tabela 11. Conflito Lima Campos/Orós: funções *payoff*.

Q	Estado	P ₁ (q)	P ₂ (q)		P ₃ (q)	
		Casos 1,2,3,4	Casos 1,3	Casos 2,4	Casos 1,2	Casos 3,4
1	(S) x (S) x (SNN)	12	12	6	14	15
2	(S) x (S) x (NSN)	16	1	1	13	14
3	(S) x (S) x (NNS)	1	16	16	16	16
4	(S) x (S) x (NNN)	6	6	11	15	4
5	(S) x (N) x (SNN)	10	11	8	7	11
6	(S) x (N) x (NSN)	14	3	3	4	8
7	(S) x (N) x (NNS)	2	15	15	9	13
8	(S) x (N) x (NNN)	5	8	12	12	3
9	(N) x (S) x (SNN)	11	10	5	6	10
10	(N) x (S) x (NSN)	15	2	2	5	9
11	(N) x (S) x (NNS)	3	14	14	8	12
12	(N) x (S) x (NNN)	8	5	9	11	2
13	(N) x (N) x (SNN)	9	9	7	2	6
14	(N) x (N) x (NSN)	13	4	4	1	5
15	(N) x (N) x (NNS)	4	13	13	3	7
16	(N) x (N) x (NNN)	7	7	10	10	1

Tabela 12. Conflito Lima Campos/Orós: estados estáveis.

Casos	Critério								
	R	GMR	SMR	SEQ	L1	L2	L3	L4	NM
1	16	1,4,8,12,16	1,4,8,12,16	1, 16	16	1	1, 16	1, 16	1,16
2	16	1,4,8,12,16	1,4,8,12,16	16	16	16	16	16	16
3	11	1,5,6,9,11,15	1,5,6,9,11,15	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1, 11	1,11
4	11	1,5,6,9,11,15	1,5,6,9,11,15	5, 11	11	11	11	11	11

nível do açude. No caso 3, quando a COGERH se preocupa mais em sair da reunião com uma decisão, existe outro estado estável, além do resultado histórico. Este estado, $q = 11$, corresponde a uma decisão da COGERH pelo nível mais alto, os irrigantes se conformam (já que suas reivindicações foram atendidas) mas os vazanteiros não. A reunião termina com uma decisão, mas o conflito não é resolvido, pois os vazanteiros não se conformam com a decisão. Como este é um estado de menor preferência da COGERH que o estado $q = 1$, fica bastante verossímil, neste caso, que a reunião terminasse com o resultado histórico. Basta a COGERH, no início da reunião, anunciar sua decisão pelo nível de compromisso. Por outro lado, os irrigantes poderiam ter levado a decisão da COGERH para o nível mais alto, anunciando logo no início da reunião a sua disposição em aceitar a decisão unilateral da COGERH, levando o conflito do *status quo* para o estado $q = 12$. Em resposta a COGERH anuncia sua decisão pelo nível mais alto estabilizando o conflito no estado $q = 11$. Nos dois

casos analisados, em que os irrigantes não valorizam a solução de compromisso, existe apenas um estado estável. Quando a COGERH se preocupa em obter um acordo, caso 2, o *status quo* é estável. Quando a COGERH se preocupa mais em sair da reunião com uma decisão do que com a obtenção de um acordo, caso 4, a solução estável é o estado $q = 11$.

CONCLUSÕES

O reconhecimento pelo meio técnico especializado que a prática da Gestão de Recursos Hídricos, e por conseguinte, a sua análise, deve incorporar o uso dos modelos baseados na Teoria de Conflitos já está bastante sedimentado. No entanto poucos trabalhos utilizando esta classe de modelo tem aparecido na literatura nacional e mesmo internacional. Neste trabalho, discute-se a utilização de um modelo baseado na Teoria de Conflitos, especificamente o Modelo Gráfico para

Solução de Conflitos (GMCR) desenvolvido em Fang et al. (1993), na análise de disputas pelo uso de recursos hídricos no Brasil.

O trabalho apresenta uma aplicação hipotética, analisando um conflito pelo uso d'água de um rio que faz divisa entre duas fazendas e cuja vazão na estiagem, não atende a demanda dos dois fazendeiros, existindo a possibilidade de construção em condomínio de um reservatório e cada fazendeiro pode também construir um reservatório, podendo ser a atratividade do reservatório privado assimétrica. Observou-se que esta ilustração hipotética tem alguma semelhança com o que ocorre no Brasil no que diz respeito a construção de reservatórios de múltiplos usos. Em geral a atratividade de reservatórios para um único uso são muito maiores para o setor elétrico, e os outros setores usuários da água também obtêm alguns benefícios com a construção dos reservatórios do setor elétrico.

O trabalho apresenta, também, uma aplicação do modelo a uma disputa no sistema de açudes Lima Campos/Orós no Ceará, descrita em Furtado & Campos, (1997). Apesar da existência da situação real, a análise foi feita sob um ponto de vista de certa forma acadêmico, no sentido de que não houve a possibilidade de consultar os decisores que participaram desta disputa quanto a validade da modelagem e, em particular, das preferências adotadas. Os resultados revelaram a importância de um sistema institucional de gestão de águas, mostrando como o poder de decisão de uma Companhia de Gestão de Recursos Hídricos pode ser fundamental para a solução do conflito.

Em resumo, esta primeira investigação acerca das potencialidades do uso de modelos conflito em Gestão de Recursos Hídricos mostra que, com o modelo GMCR, é possível identificar e generalizar características importantes de problemas de recursos hídricos no Brasil. Uma limitação importante do modelo GMCR é incapacidade de tratamento explícito das incertezas, por exemplo quanto às preferências de cada decisor, muito embora se possa fazer análises de sensibilidade.

REFERÊNCIAS

- FANG, L.; HIPEL, K. W.; KILGOUR, M. (1988) The Graph Model Approach to Environmental Conflict Resolution, *Journal of Environmental Management*, vol. 27, p. 195-212.
- FANG, L.; HIPEL, K. W.; KILGOUR, M. (1993) *Interactive Decision Making. The Graph Model for Conflict Resolution*. John Wiley & Sons.
- FURTADO, L. L. S.; CAMPOS, J. N. B. (1997) *Manejo e Cobrança de Água no Sistema de Vazanteiros e*

Irrigantes do Sistema Orós-Lima Campos, XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

HOWARD, N. (1971) *Paradoxes of Rationality*, MIT Press, Cambridge, MA.

KILGOUR, D. M., HIPEL K. W. & FANG L. (1987) *The Graph Model for Conflicts*, *Automatica*, vol. 23, n° 1, p. 41-55.

MALTA, V. F. (2000) *Aplicação do Modelo Gráfico de Solução de Conflitos em Problemas de Recursos Hídricos no Brasil*, tese de mestrado, COPPE/UFRJ.

VON NEUMANN, J. (1928) *Zur Theorie der Gesellschaftsspiele*, *Mathematische Annalen*, vol. 100, p. 295-320.

VON NEUMANN, J.; MORGENSTERN, O. (1944) *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press, Princeton, NJ.

Use of the Graphic Model for Conflict Resolution in Water Resources Problems in Brasil

ABSTRACT

This paper presents an analysis of the use of the Graphic Model for Conflict Resolution developed by Fang et al (1993), in water resources management problems in Brazil. The main aspects of the formal development of the GMCR model are described in terms of its basic components (decision makers, options, strategies and preferences), key concepts (stable states, equilibrium states and stability criteria), and mathematical representation of conflicts by sets of oriented graphs and payoff functions. The equations for the stability analysis of conflicts with two or more decision makers for different stability criteria are provided. The model is used to analyse the importance of the institutional water management system to solve water use conflicts in the Lima Campos/Orós reservoir (1997).