

**APLICAÇÃO DO MODELO GRAFO DE SOLUÇÃO DE CONFLITOS EM
PROBLEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL**


Valéria de Fátima Malta

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.


Aprovada por:



Prof. Jorge Machado Damázio, D. Sc.



Prof. Fernanda da Serra Costa, D. Sc.



Prof. Flávio César Borba Mascarenhas, D. Sc.



Prof. Paulo Canedo de Magalhães, Ph.D

RIO DE JANEIRO, RJ, BRASIL

OUTUBRO DE 2000

MALTA, VALÉRIA DE FÁTIMA

Aplicação do Modelo Grafo de Solução
de Conflitos em Problemas de Recursos
Hídricos no Brasil [Rio de Janeiro] 2000

VII, 77 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.
Sc., Engenharia Civil, 2000)

Tese – Universidade Federal do Rio de
Janeiro, COPPE.

1. Análise de Conflitos
2. Análise de Sistema de Recursos
Hídricos
3. Teoria dos Jogos

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Dedico à memória de meus pais Joaquim
Peres Malta e Léa Saber Malta

AGRADECIMENTOS

À Deus.

Aos meus irmãos Suzete Maria Malta e Mário Luiz Saber Malta pelo incentivo e apoio durante o período de realização deste trabalho.

Ao professor Jorge Machado Damázio pela orientação dada a este trabalho, pelo incentivo, pelos ensinamentos transmitidos e pela amizade.

Ao Professor José Homero P. Soares da Universidade Federal de Juiz de Fora pelo estímulo inicial ao mestrado.

Ao Ex. Diretor do IPPLAN/JF Jean Kamil pela oportunidade de realização deste curso.

A todos os amigos do IPPLAN/JF que através do apoio técnico e do estímulo colaboraram para a realização do curso.

Aos funcionários dos Laboratórios de Hidráulica Computacional, Hidrologia e Traçadores, que muito contribuíram no decorrer do curso.

Aos professores da Área de Recursos Hídricos, pelos ensinamentos.

Aos amigos de Mestrado Adrian Anibal Salimson, Celso Bandeira de Melo Ribeiro, Jaqueline Moura Medina, Júlio César de Jesus, Rita de Cássia dos Santos, Stella Maris Melazzi Andrade, Valéria Nunes de Oliveira e Wilma Huacasi pela amizade, cooperação e incentivo durante o curso.

Às amigas Érika Maria Carvalho Silva e Stefânia Defilippo Rocha pela amizade e pelas horas de descontração.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.)

APLICAÇÃO DO MODELO GRAFO DE SOLUÇÃO DE CONFLITOS EM PROBLEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

Valéria de Fátima Malta

Outubro/2000

Orientador: Jorge Machado Damázio

Programa: Engenharia Civil

Esta tese discute a utilização do Modelo Grafo para Solução de Conflitos (GMCR - desenvolvido em Fang et al, 1993), na análise de disputas pelo uso de Recursos Hídricos no Brasil. 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; ilustrando-se a apresentação com quatro aplicações hipotéticas, sobre uma disputa de água em um rio que faz divisa entre duas fazendas, e no período de estiagem gera um conflito entre os proprietários pelo uso d'água. A seguir apresenta-se 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 Estado do Ceará, descrita em Furtado e Campos, 1997 .

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

**USE OF THE GRAPH MODEL FOR CONFLICT RESOLUTION IN THE
ANALYSIS OF WATER RESOURCES DISPUTES IN BRAZIL**

Valéria de Fátima Malta

October/2000

Advisor: Jorge Machado Damázio

Department: Civil Engineering

This thesis 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 than two decision makers for different stability criteria are provided. The model is used to analyse the importance of the water management institutional system in the solution of a conflict on the use of the water in the Lima Campos/Orós reservoir system in Ceará, described in Furtado and Campos, 1997.

I – 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 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 hidrografo 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 próprios rios 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 decisões que consideram o múltiplo uso da 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 (ex.: Braga et al, 1987), 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 e de acordo com a lei 9433 de 8 de janeiro de 1997, 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 XVI em jogos de salão, teve suas bases mais modernas desenvolvidas por Von Neumann, (1928). Desde então diversos desenvolvimentos alargaram significativamente a amplitude de tópicos e sub-tópicos tratados pela Teoria de Jogos, existindo por exemplo modelos desenvolvidos para a análise de jogos com apenas dois jogadores e modelos mais gerais, capazes de analisar jogos com mais de dois jogadores.

Os modelos são classificados também quanto o número de ações que cada jogador pode tomar, tipos de estruturas de preferência utilizada pelo modelo (cardinais, 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, super jogos e jogos diferenciais). Dentre os diversos ramos da Teoria dos Jogos destaca-se a Modelagem de Conflitos, desenvolvido primeiramente por Howard, (1971).

I.1 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 conflito na área de recursos hídricos no Brasil é a disputa pela transposição das águas do Rio São

Francisco, onde entram em conflito os interesses da população 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 uma 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 de construção do modelo. No modelo de Von Neumann e Morgenstern, 1944, comumente chamado de Forma Normal (*Normal Form*), as unidades são as possíveis combinações de ações dos decisores (estratégias). Kilgour, Hipel e Fang (1987) adicionaram à Análise de Conflito a Teoria de Grafos, criando o chamado Modelo Grafo de Resolução 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 supõe-se 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). Fang et al, 1993 listaram as seguintes características do modelo GMCR:

- a) Aplicações documentadas desta técnica confirmam que ela produz resultados realistas e úteis. Por exemplo, Hipel, Fang e Kilgour, (1993) usaram este modelo na análise de uma disputa de Recursos Hídricos entre os EUA e Canadá.
- b) O método pode ser aplicado a qualquer situação com qualquer número possível de

decisores e opções.

- c) Apesar de a técnica ser firmemente baseada em conceitos matemáticos da teoria de conjuntos e da lógica, não é necessário na sua utilização prática toda a compreensão da teoria subjacente.
- d) Cada decisor só precisa informar as suas preferências de forma ordinal.
- e) A abordagem modela a dinâmica de conflitos que evoluem no tempo.
- f) Coalizões entre decisores, em conflitos com mais de dois decisores, podem ser modeladas.
- g) É possível a análise de *hypergames*, ou seja, situações onde um ou mais decisores possuem visões erradas do conflito, por exemplo, das preferências ou das opções disponíveis de outros decisores, ou ainda, da própria existência de algum decisor.

Este trabalho tem como objetivo analisar a aplicação do modelo GMCR em disputas de Recursos Hídricos no Brasil. No item II descreve-se o modelo GMCR, ilustrando-se a apresentação com uma aplicação hipotética. No item III o modelo é aplicado a disputas pelo uso d'água no Sistema Orós/Lima Campos na bacia do Rio Jaguaribe no estado do Ceará. Neste item, procura-se caracterizar as disputas, identificando-se decisores (irrigantes e vazanteiros, agências de desenvolvimento regional, Companhia de Gestão de Recursos Hídricos, prefeituras, órgão de saneamento, etc.), assim como as suas principais opções e preferências.

O item IV apresenta as conclusões do trabalho e propõe o uso do método desenvolvido por Szidarovsky, 1989, para classificar as condições de cada disputa em categorias cujas sistemáticas mais apropriadas para negociação tendam a ser diferentes e, a partir destas análises, formular recomendações para o desenvolvimento de modelos de planejamento para Agências de Bacia ou Comitês Integrados de Bacias, assim como para o aprimoramento de modelos de planejamento setoriais, em particular para os modelos que vêm sendo utilizados pelo setor elétrico brasileiros nas diversas fases de desenvolvimento de seus projetos hidroelétricos. Por exemplo atualmente o modelo de Sistema de Inventários Hidrelétrico utiliza uma abordagem multiobjetivo, onde os diversos objetivos são ponderados por fatores de peso. Uma forma de resolução de

conflitos eventualmente identificados em Estudos de Inventário, consiste na negociação de um consenso em torno destes pesos, prevendo-se a necessidade de modelagens mais sofisticadas para se chegar a este objetivo.

II - O MODELO GRAFO DE SOLUÇÃO DE CONFLITOS (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 da Teoria de Grafos. Finalmente na terceira seção apresenta-se o modelo e na quarta sessão mostram-se quatro aplicações do modelo à disputas hipotéticas.

II.1 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 1997

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 dada 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.

O GMCR foi teoricamente projetado para tratar um número finito de tomadores de decisão e opções.

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 que 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 indiferente 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, pode-se 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 transformam-nas em preferências relativas.

Outros modelos de análise de conflito são projetados para tratar preferências ordinais e 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

É a definição matemática precisa de como a estabilidade pode ser calculada incluindo 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 I.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 à “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 contra movimentos na evolução da disputa antes de tomar sua próxima decisão. Na caracterização propensão à “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.

Tabela II.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	Por oponentes
Metaracionalidade Simétrica	Howard (1971)	Médio	Por oponentes
Estabilidade Seqüencial	Fraser e Hipel (1979,1984)	Médio	nunca
Estabilidade de L_h	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

II.2 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 cauda e v_j é a cabeça de a_{ij} . Um arco com cabeça e cauda iguais é chamado *loop*. Um grafo direcionado é chamado 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 cauda 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 \mathbf{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 $a_{ij} = 0$ 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 \mathbf{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 $r_{ij} = 0$ 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:

$$\mathbf{R} = \mathbf{A} + \mathbf{I} \quad (1)$$

onde \mathbf{I} é a matriz identidade.

II.3 O Modelo GMCR

Seja um conflito onde $N = \{1, 2, \dots, n\}$ é o conjunto de índices dos decisores e $U = \{1, 2, \dots, u\}$ é 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*, $P_i : U \rightarrow \mathbf{N}$, onde \mathbf{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 se 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 Grafo 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 , $R_i(k, q) = 0$, 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 $n \cdot u$ 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:

$R_i^+(k, q) = 1$ se $R_i(k, q) = 1$ e $P_i(q) > P_i(k)$;

$R_i^+(k, q) = 0$ 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 2 Decisores

A seguir define-se para o modelo GMCR os critérios de estabilidade da tabela II.1 para conflitos de 2 decisores, denotados i e j . A figura 2 ilustra 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.

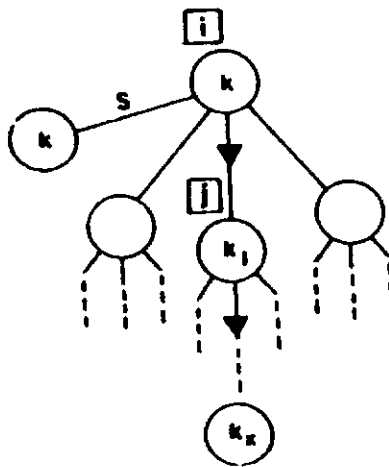


Fig. 1 – Problema de decisão do decisor i de um estado inicial k em um conflito de dois decisores, onde j é oponente a i , k , k_1 , k_x , são os estados e s significa manter o *status quo*.

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 conseqüentemente 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 – Definida por Howard – 1971. 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. O decisor espera também que o conflito termine 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 – Também definida por Howard – 1971. 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 Seqüencial – Definida a princípio por Fraser e Hipel – 1979, 1984. É a

base da metodologia da Análise de Conflitos. Assim como na Metaracionalidade Geral o decisor i só analisa as possíveis reações do seu oponente, ignorando as suas contra-reações. A diferença está em que, na estabilidade seqüencial o decisor i espera que seu oponente considere a sua própria função *payoff* na tomada de suas decisões e portanto nem sempre responderá bloqueando seus melhoramentos unilaterais. Neste sentido, um estado é seqüencialmente estável para um decisor se e somente se ele é impedido de tomar qualquer melhoramento unilateral deste estado porque em seqüência 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 seqüencialmente 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 – Introduzida por Kilgour – 1985. 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 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:

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

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

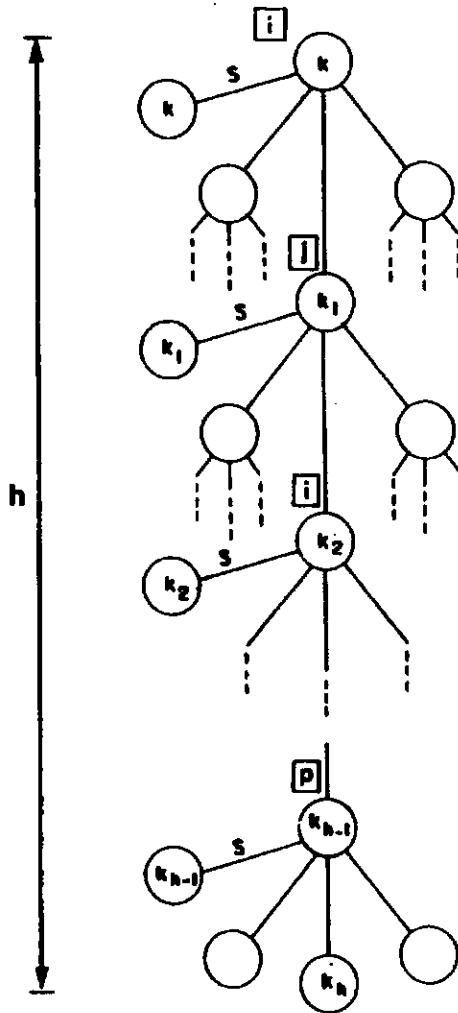


Fig. 2 – Estabilidade L_h para o jogador i em um conflito de dois decisores (p é o jogador que move primeiro, mas $p = i$ se h é ocasional e $p = j$ se h é regular, k, k_1, k_2, \dots, k_h são os estados, e s é permanecer estacionado).

Se as preferências do conflito não contêm 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:

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

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

Para melhor entendimento do cálculo de $G_h(i, k) = k$ podemos usar o algoritmo abaixo:

$G_0(i, k) = k$ sendo $i \in N$ e $k \in U$;

Percorre-se os estágios $t = 1, h$

 Percorre-se decisores

 Percorre-se os estados $k \in U$

 se $S_i(k) = \emptyset$

 então $G_t(i, k) = k$

 senão

 percorre-se os estados $q \in S_i(k)$

 calcula-se $P_i(g_{t-1}(j, q))$

 end estados

 escolhe-se q^* ótimo

 guarda-se $q^* = g_{t-1}(j, q^*)$ e $P_i(q^*)$

 se $P_i(k) \geq P_i(q^*) = G_t(i, k) = k$

 se $P_i(k) < P_i(q^*) = G_t(i, k) = q^*$

 end se

 end estados

 end decisores

end estágios

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 – Brams e Wittman's – 1981. 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 $t \geq t'$.

Equilíbrio de Stackelberg – Todos os conceitos de estabilidade descritos acima são conceitos individuais no senso de que eles analisam a decisão de um decisor em relação a se manter ou se afastar unilateralmente de um estado *status quo* k . Um estado está em

equilíbrio se todos os decisores o consideram estável. Logo pode-se considerar que estas análises são simétricas, já que a análise é feita da mesma forma para todos os decisores. No entanto em algumas situações pode ser mais apropriado considerar modelos assimétricos onde um dos decisores tem força para impor suas decisões. Na formulação de Stackelberg (1934) o decisor que possui a posição de força é chamado de líder, e o seu oponente de seguidor.

Definição: Seja $i \in N$. Um estado $k \in U$ é um equilíbrio no senso de Stackelberg com o decisor i como líder (equilíbrio ST(i)) se e somente se k é L_2 estável para i e Nash estável para j .

Se um estado é um equilíbrio no senso de Stackelberg com os dois decisores como líderes, o estado é referido como um estado de equilíbrio de Stackelberg dual.

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 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 j , 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 .

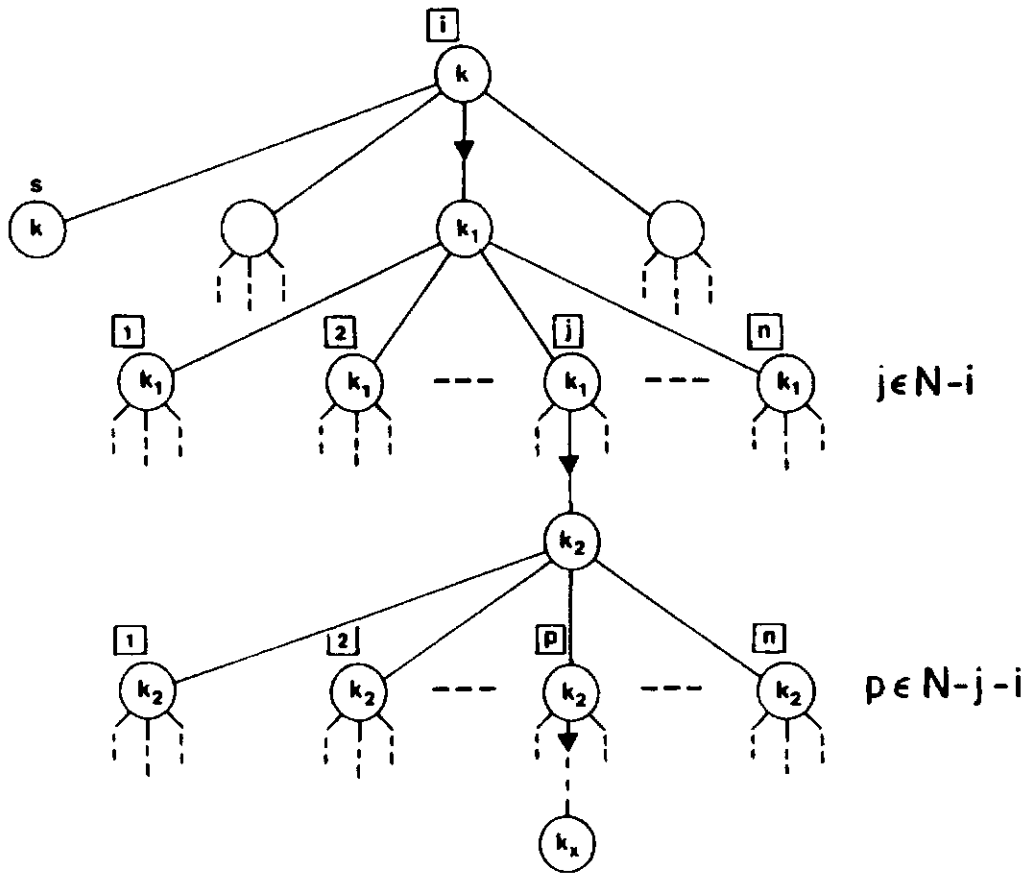


Fig. 3 – O problema de decisão do jogador i de um estado inicial k em um conflito de n jogadores, onde k_1 , k_2 , e k_x são estados e s permanecer estacionado.

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 dos 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 contém 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:

- iii. Se $j \in H$ e $k_1 \in S_j^+(k)$ então $k_1 \in S_H^+(k)$ e $j \in \Omega_{HK}^+(k_1)$.
- iv. Se $k_1 \in S_H^+(k)$, $j \in H$, e $k_2 \in S_j^+(k_1)$ então
 - c) Se $|\Omega_{HK}^+(k_1)| = 1$ e $j \notin \Omega_{HK}^+(k_1)$, então $k_2 \in S_H^+(k)$ e $j \in \Omega_{HK}^+(k_2)$,
 - d) 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 termine 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 sessão 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 de 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 (tipo 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:

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

$$G_i(i, k) = Q_i(i, k) \quad \text{se } S_i(k) \neq \emptyset \text{ e } P_i(k) < V_i(i, k) \quad (13)$$

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 $S_i(k) \neq \emptyset$ então:

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

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

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

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

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

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 que cuja preferência 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 seqüência 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 $h=1$ usamos 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 (tipo 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.

Equilíbrio de Stackelberg – A generalização do Equilíbrio de Stackelberg para o caso de mais de três decisores foi apresentada por Basar e Olsder, 1982 como:

Definição: Seja um conflito com três decisores, um deles líder e os outros dois seguidores. Um estado $k \in U$ é um equilíbrio de Stackelberg se e somente se k é L_2 estável para o líder e L_1 estável para os seguidores

II.4 Ilustração

Para ilustrar a apresentação do modelo GMCR vamos considerar uma disputa hipotética pelo uso d'água do Rio Rafa, 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 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 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.

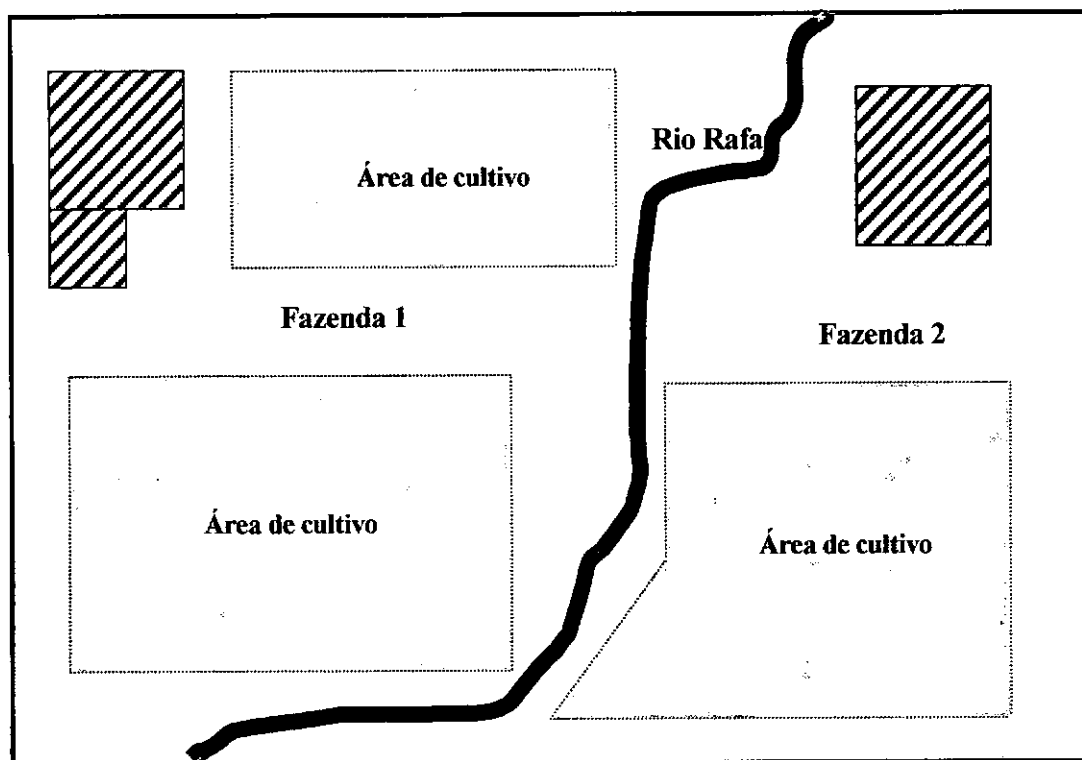


Fig. 4 – Desenho esquemático das fazendas envolvidas no conflito do Rio Rafa.

Para a modelagem desta disputa considera-se como decisores os fazendeiros com as opções da tabela II.4.1. 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 II.4.1 aparece também o *status quo* 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 estiagem mais profunda e/ou prolongada. As estratégias de cada decisor estão apresentadas na tabela II.4.2. onde também aparece o *status quo*.

Tabela II.4.1 – Disputa do Rio Rafa: decisores, suas opções, e *status quo*.

Decisor	Estratégias	<i>Status Quo</i>
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

Tabela II.4.2 – Disputa do Rio Rafa: decisores, suas estratégias, e *status quo*

Decisor	Estratégias	<i>Status Quo</i>
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 três casos alternativos, diferenciados do caso base em relação à reversibilidade e à avaliação individual de cada fazendeiro da decisão de construir seu reservatório privado.

Caso Base

No caso base, as decisões quanto à construir seu próprio reservatório serão consideradas reversíveis e, construir seu reservatório privado é mais interessante para o fazendeiro 1 do que para o fazendeiro 2.

A tabela II.4.3 apresenta a lista de 16 estados possíveis para a disputa do Rio Rafa, neste caso formada por todas as combinações de estratégias da tabela II.4.2. Esta tabela apresenta também, para o caso base, as listas de alcance e as funções *payoff* de

cada decisor, discutidas a seguir.

Tabela II.4.3 – Disputa do Rio Rafa; Caso Base: estados, listas de alcance e funções *payoff*

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

Listas de Alcance do Caso Base:

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.

No caso base vamos considerar 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.

Funções *payoff* para o Caso Base :

Conforme citado acima, no caso base supõe-se que construir seu reservatório privado seja 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.

As tabelas II.4.4 e II.4.5 apresentam separadamente as funções *payoff* de cada

fazendeiro adotada como caso base.

Considerou-se para os dois fazendeiros, o pior dos estados (valor da função *payoff* igual à 1) o *status quo*. Considerou-se também que os dois fazendeiros têm como estado preferencial (*payoff* igual à 16) 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 na estiagem. 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.

Os dois estados seguintes nas ordens de preferência dos dois fazendeiros são os estados em que apenas o seu oponente já tenha construído o reservatório privado e, em ordem: ninguém esteja apoiando (*payoff* igual à 15), os dois estão apoiando a construção do reservatório em condomínio (*payoff* igual à 14).

Os estados em que apenas o oponente construiu o seu reservatório e também apenas o oponente apoia a construção do reservatório em condomínio não tem boa aceitação para os dois fazendeiros, que acham que nesta situação os pedidos de indenização tendem a ser mal sucedidos.

Para o quarto lugar da preferência (*payoff* igual à 13) consideramos a assimetria entre os fazendeiros. Para o fazendeiro 1 que tem maior disposição para construir 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. 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.

Para o fazendeiro 1, o *payoff* 12 vai para o estado onde ele e o seu oponente já

construíram seus reservatórios privados e ninguém esteja apoiando a construção do reservatório em condomínio, o *payoff* 11 vai para o estado onde ele e o seu oponente já construíram seus reservatórios privados e os dois estejam apoiando a construção do reservatório em condomínio.

O *payoff* 10 para o fazendeiro 1, vai para o estado pouco confortável onde, outra vez, ele e o seu oponente construíram seus reservatórios privados e, agora, apenas seu oponente esteja apoiando a construção do reservatório em condomínio. No entanto este estado é considerado mais favorável do que qualquer dos estados onde seu oponente não construiu seu reservatório.

Ainda para o fazendeiro 1, dentre os estados onde seu oponente não construiu seu reservatório privado, os mais favoráveis são aqueles em que ele próprio construiu seu reservatório e o seu oponente não apoia a construção do reservatório em condomínio. Dos dois, o estado em que ele próprio também apoia a construção em condomínio é preferido, ficando este estado com o valor de função *payoff* igual à 9 e o outro com valor de função *payoff* igual à 8. Seguindo nos estados nos quais o seu oponente não construiu seu reservatório privado, o fazendeiro 1 prefere o estado em que ele constrói seu reservatório e ele e o seu oponente apoiam a construção do reservatório em condomínio (função *payoff* igual à 7).

Por outro lado, o estado em que ele constrói o seu reservatório privado sem apoiar a construção do reservatório em condomínio e o seu oponente, que não constrói seu reservatório, apoia sozinho a construção do reservatório em condomínio (função *payoff* 5) é considerado pior que o estado em que os dois fazendeiros optaram por não construir seus reservatórios e apoiam a construção do reservatório em condomínio (função *payoff* 6).

A seguir nas preferências do fazendeiro 1 está o estado onde nenhum dos dois construíram seu reservatório privado e apenas ele apoia a construção do reservatório em condomínio (função *payoff* 4).

Finalizando as preferências do fazendeiro 1 estão os estados restantes em que ele não constrói seu reservatório e não apoia a construção do reservatório em condomínio com preferência para o estado em que o seu oponente constrói seu reservatório (função *payoff* 3), seguido do estado em que seu oponente não constrói o reservatório e apoia a construção do reservatório em condomínio (função *payoff* 2), estado esse que só é melhor nas preferências do fazendeiro 1 do que o *status quo*.

Voltando ao fazendeiro 2, a seguir do seu estado de *payoff* igual à 13 onde ninguém construiu seu reservatório privado e os dois apoiam a construção do reservatório em condomínio, está o estado onde também ninguém construiu seu reservatório, mas agora o seu oponente apoia a construção do reservatório em condomínio (*payoff* igual à 12) que é preferido ao estado seguinte (*payoff* igual à 11) no qual, também, ninguém construiu seu reservatório, e agora apenas ele apoia a construção do reservatório em condomínio.

Para o fazendeiro 2, não construir o seu reservatório e não apoiar a construção do reservatório em condomínio, mesmo quando o seu oponente apoia a construção do reservatório e já construiu um reservatório privado é preferível a qualquer dos estados onde ele constrói seu reservatório, ficando então o valor da função de *payoff* para este estado igual à 10.

Para o fazendeiro 2, dentre os estados em que ele constrói seu reservatório privado, ele prefere aqueles em que ele apoia a construção do reservatório em condomínio. Destes, a ordem de preferência vai do estado em que o seu oponente constrói seu reservatório e não apoia a construção do reservatório em condomínio (função *payoff* igual à 9), para o estado em que seu oponente nem apoia a construção do reservatório em condomínio, nem constrói seu reservatório privado (função *payoff* igual à 8), seguindo para o estado em que o seu oponente não constrói seu reservatório privado mas apoia a construção do reservatório em condomínio (função *payoff* igual à 7), e terminando no estado em que seu oponente constrói seu reservatório privado e apoia a construção do reservatório em condomínio (função *payoff* igual à 6).

Descendo na função *payoff* do fazendeiro 2, aparecem agora os estados em que ele constrói seu reservatório privado e nos quais ele não apoia a construção do reservatório em condomínio. A ordem vai do estado em que seu oponente constrói seu reservatório privado e não apoia a construção do reservatório em condomínio (função *payoff* igual à 5), para o estado em que o seu oponente nem apoia a construção do reservatório em condomínio, nem constrói seu reservatório privado (função *payoff* igual à 4), seguindo para o estado em que seu oponente constrói seu reservatório privado e apoia a construção do reservatório em condomínio (função *payoff* igual à 3), para terminar no estado em que o seu oponente apoia a construção do reservatório em condomínio e constrói seu reservatório privado (função *payoff* igual à 2).

Tabela II.4.4 – Disputa do Rio Rafa; Caso Base: Função de preferência do fazendeiro 1

Fazendeiro 2					
Fazendeiro 1	Opções	(NN)	(SN)	(SS)	(NS)
	(NN)	1	2	3	15
	(SN)	4	6	14	16
	(SS)	9	7	11	13
	(NS)	8	5	10	12

Tabela II.4.5 – Disputa do Rio Rafa; Caso Base: Função de preferência do fazendeiro 2

Fazendeiro 1					
Fazendeiro 2	Opções	(NN)	(SN)	(SS)	(NS)
	(NN)	1	12	10	15
	(SN)	11	13	14	16
	(SS)	8	7	6	9
	(NS)	4	3	2	5

Para a análise do conflito do Rio Rafa utilizou-se a implementação computacional do modelo GMCR desenvolvida por Fang et al, 1993. A tabela II.4.6 apresenta os resultados obtidos para a análise do conflito do Rio Rafa, caso base , onde “1” ou “2” indica que o estado é estável para o fazendeiro indicado mas não para o seu oponente e “E” indica que o estado está em equilíbrio. A tabela II.4.7 apresenta apenas o possíveis estados de equilíbrio da disputa.

Como pode-se notar nestas tabelas a situação do conflito deverá mudar já que o *status quo* (estado $q=1$) não é estável em nenhum dos critérios de estabilidade. Existem dois estados de equilíbrio, os estados $q=10$ e $q=13$. Nos dois estados apenas o fazendeiro 1 constrói seu reservatório privado, resultado racional para esta disputa, tendo em vista que este estado agrada os dois fazendeiros. No estado $q=10$ os dois fazendeiros estão apoiando a construção do reservatório em condomínio, e no estado $q=13$ nenhum dos dois fazendeiros apoiam a construção do reservatório em condomínio. Se a visão de futuro dos fazendeiros for grande, apenas o estado $q=13$ é estável.

Tabela II.4.6 – Disputa do Rio Rafa; Caso Base: Análise de Estabilidade

Estado	Critérios										
	Q	R	GMR	SMR	SEQ	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	NM
1											
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3											
4		1	1	1		1	1	1	1	1	1
5		2	2								
6	2	2	2	2	2	2					
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	E	E	E	E	E	E	E	E	E	2	2
11		1	1	1		1	1	1	1	1	1
12		1	1	1		1	1	1	1	1	1
13		E	E	E		E	E	E	E	E	E
14	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
15		1	1	1		1	1	1	1	1	1
16		1	1	1		1	1	1	1	1	1

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

Tabela II.4.7 – Disputa do Rio Rafa; Caso Base: Estados de Equilíbrio

Estado	Critérios											
	(q)	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	E	2	2	E
13		E	E	E		E	E	E	E	E	E	

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

Para os dois fazendeiros o estado q=13 é preferido ao estado q=10, ou seja, vale mais a pena para os dois fazendeiros não construir o reservatório em condomínio. É

fácil descrever uma possível evolução desta disputa a partir do *status quo*, em direção ao estado $q=13$. Basta o fazendeiro 1 tomar a iniciativa e construir seu reservatório privado e começar a operá-lo, levando a disputa imediatamente para o estado $q=13$. Neste caso as negociações para construção do reservatório em condomínio não deverão nunca se iniciar. Note na lista de alcance do fazendeiro 1 para o estado $q=1$, o estado $q=13$ é o estado de maior preferência para o fazendeiro 1.

Por outro lado, segundo o modelo, se a disputa atingir o estado $q=10$, se os dois fazendeiros tiverem pouca visão de futuro, o estado $q=10$ permanecerá. Uma possível evolução para o estado $q=10$ 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 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 $q=10$. No estado $q=10$ não existe melhoramento unilateral possível para os dois fazendeiros. Sem visão de futuro, o estado $q=10$ é estável, e as negociações em torno da construção do reservatório em condomínio tendem a prosseguir.

A tabela II.4.8 mostra uma possível evolução da disputa a partir do estado $q=10$, 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.

Tabela II.4.8 – Disputa do Rio Rafa; Caso Base:
Evolução do estado $q=10$ para o estado $q=13$.

Decisor	Estados			
	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

Caso Alternativo 1 – Irreversibilidade do Reservatório Privado

O primeiro caso alternativo da disputa do rio Rafa, supõe que a decisão quanto a construir o reservatório privado é irreversível. A tabela II.4.9 apresenta a modelagem para este caso da disputa e a tabela II.4.10 apresenta os possíveis estados de equilíbrio.

Na tabela II.4.10 os estados $q=10$ e $q=13$ aparecem novamente como estados de equilíbrio, sendo que neste caso os dois estados são estáveis quando os dois fazendeiros apresentam grande visão de futuro. Isto por que a transição do estado $q=10$ para o estado $q=6$ na descrição acima da evolução da disputa entre os estados $q=10$ e $q=13$ não é mais possível. Neste caso alternativo a disputa só atingirá o estado $q=13$, se o fazendeiro 2, desde o início, analisar o problema com grande visão de futuro.

Além dos estados $q=10$ e $q=13$, aparecem agora também como estados de equilíbrio, os estados $q=7$ e $q=11$, onde o fazendeiro 2 aparece construindo o seu reservatório privado. Como estes dois estados são claramente desfavoráveis ao fazendeiro 2, não há como a disputa evoluir do *status quo* para estes estados.

Tabela II.4.9 – Disputa do Rio Rafa; Caso Alternativo 1: estados, listas de alcance e funções *payoff*

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

Tabela II.4.10 – Disputa do Rio Rafa; Caso Alternativo 1: Estados de Equilíbrio;

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

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

Casos Alternativos 2 e 3 – Reservatório Privado Igualmente Atrativo

Nos dois casos analisados acima considerou-se o fazendeiro 1 com maior incentivo para a construção do reservatório privado. Nos casos alternativos 2 e 3 vamos analisar a situação onde a disposição para a construção do reservatório privado do fazendeiro 1 é a mesma do fazendeiro 2. A tabela II.4.11 apresenta a modelagem para o caso onde a decisão quanto a construir o reservatório privado é reversível e a tabela II.4.13 apresenta a modelagem para o caso contrário. As tabelas II.4.12 e II.4.14 apresentam os possíveis estados de equilíbrio de cada um destes casos.

Tabela II.4.11 – Disputa do Rio Rafa; Caso Alternativo 2: estados, listas de alcance e funções *payoff*

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

Tabela II.4.12 – Disputa do Rio Rafa; Caso Alternativo 2: Estados de Equilíbrio

Estado	Critérios							
	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 $h=3$.

Tabela II.4.13 – Disputa do Rio Rafa; Caso Alternativo 3: estados, listas de alcance e funções *payoff*

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

Tabela II.4.14 – Disputa do Rio Rafa; Caso Alternativo 3: Estados de Equilíbrio

Estado	Critérios								
	(q)	R	GMR	SMR	SEQ	L ₁	L ₂	NM	ST
2	2	E	E	E	2	2			
5	1	E	E	E	1	1			
6	E	E	E	E	E	E	E	E	E
7	E	E	E	E	E	E	E	E	E
11	E	E	E	E	E	E	E	E	E
10	E	E	E	E	E	E	E	E	E

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

Pode-se notar no caso 2 o equilíbrio do estado $q=6$, 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 a estiagem.

Interessante notar que, de acordo com o equilíbrio conservador e míope GMR e SMR, os estados $q=2$ e $q=5$, onde apenas um dos fazendeiros apoia a construção do reservatório em condomínio, são estados estáveis. De acordo com estes 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.

Portanto pelas preferências adotadas um fazendeiro prefere o estado que o outro esteja apoiando a construção do reservatório em condomínio e ele ainda não, ao estado em que ele apoia sozinho a construção do reservatório em condomínio.

No caso 3, onde assume-se que a decisão de construir o reservatório próprio é irreversível, todos os 4 estados onde os dois fazendeiros concordam em manter negociações acerca da construção do reservatório são estáveis. Os estado em que os dois

fazendeiros ou já construíram ou ainda não construíram seu reservatório privado (estados $q=6$ e $q=11$), são igualmente valorizados pelos dois fazendeiros, sendo o estado em que nenhum dos dois fazendeiros já construíram o reservatório, que é o estado mais valorizado dos dois.

Os outros dois estados, onde apenas um dos fazendeiros já construiu seu reservatório privado são valorizados diferentemente pelos dois fazendeiros, cada um deles preferindo o estado em que apenas o seu vizinho construiu o seu reservatório privado. Como não há como obrigar o seu vizinho a construir o seu reservatório privado, a disputa neste caso deve evoluir para o estado 6. Assim como no caso anterior os estados $q=2$ e $q=5$ são também estáveis pelos critérios míopes e conservadores.

Em conclusão, a análise dos resultados dos quatro casos em conjunto mostra um padrão interessante. Nos dois casos 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 nos casos 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 múltiplo 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.

III – APLICAÇÕES

Neste capítulo, através da aplicação do modelo GMCR à alguns conflitos de recursos hídricos clássicos no Brasil, procuraremos caracterizar os principais parâmetros dos problemas destes recursos, identificando os decisores (concessionárias de geração de energia elétrica, agências de desenvolvimento regional, companhias de navegação, prefeituras, órgão de saneamento, etc.), assim como as suas principais opções e preferências.

Veremos a seguir uma aplicação de um conflitos real, uma disputa Histórica – Conflito entre Vazanteiros e Irrigantes do Sistema Lima Campos/Orós.

III.1 O Conflito do Sistema Lima Campos/Orós

Neste capítulo apresenta-se uma aplicação do modelo GMCR ao conflito do sistema de açudes Lima Campos/Orós descrito por Furtado e Campos, 1997.

Conforme Furtado e 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 m³ de água, sendo alimentado pelo Rio São João que tem área de drenagem de 354 Km². 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 m³, é drenado por uma bacia de 25.000 Km². 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 (10.000ha), 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.

Abaixo um mapa da Bacia do Rio Jaguaribe, identificando a área onde existia o conflito, e a sua respectiva legenda:

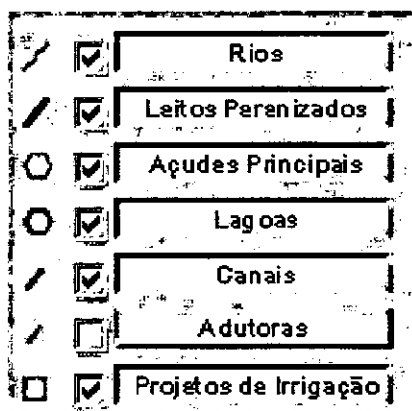
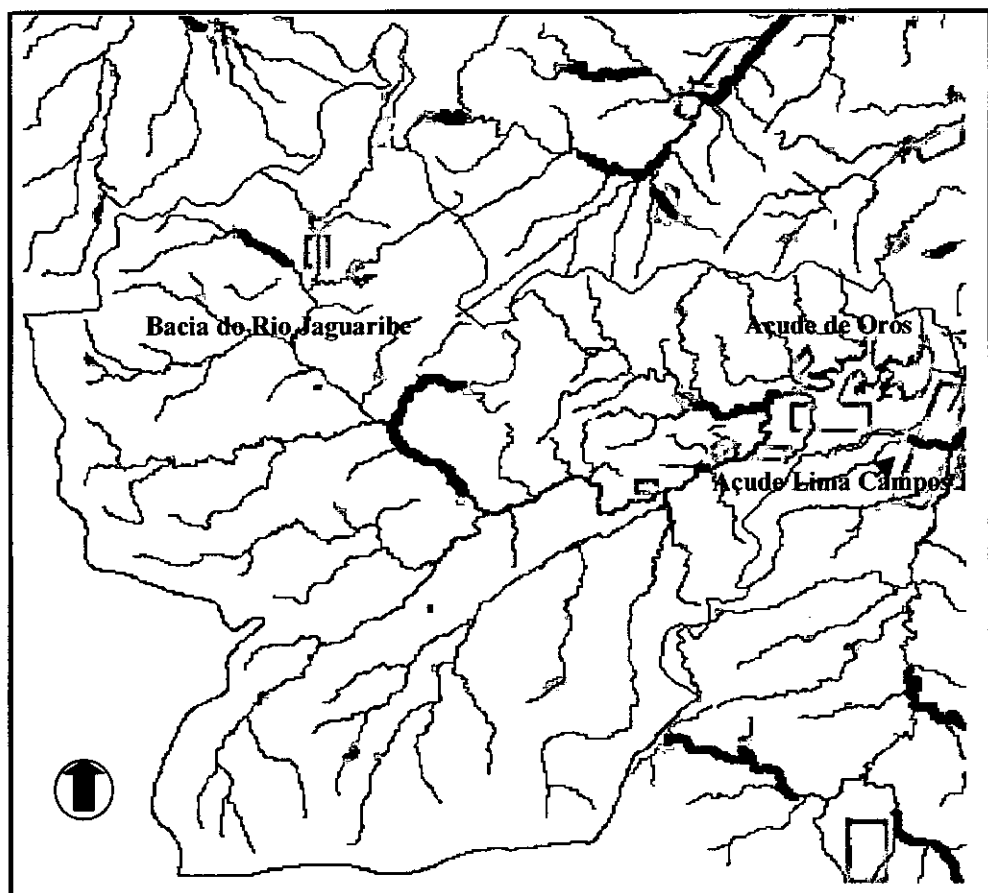


Fig. 5 – Mapa da Bacia do Rio Jaguaribe, identificando os açudes de Orós e Lima Campos (Bacia do Rio Salgado), e a legenda acima identifica os outros componentes do mapa da figura 5 e 6. Retirado da INTERNET, pagina: <http://atlas.secrel.com.br/index.asp>.

Abaixo Mapa do Município de Icó, com as indicações dos açudes, os rios formadores e rios perenizados com a construção destes açudes, mostra também as áreas de irrigação do projeto de Irrigação do Orós/Lima Campos.

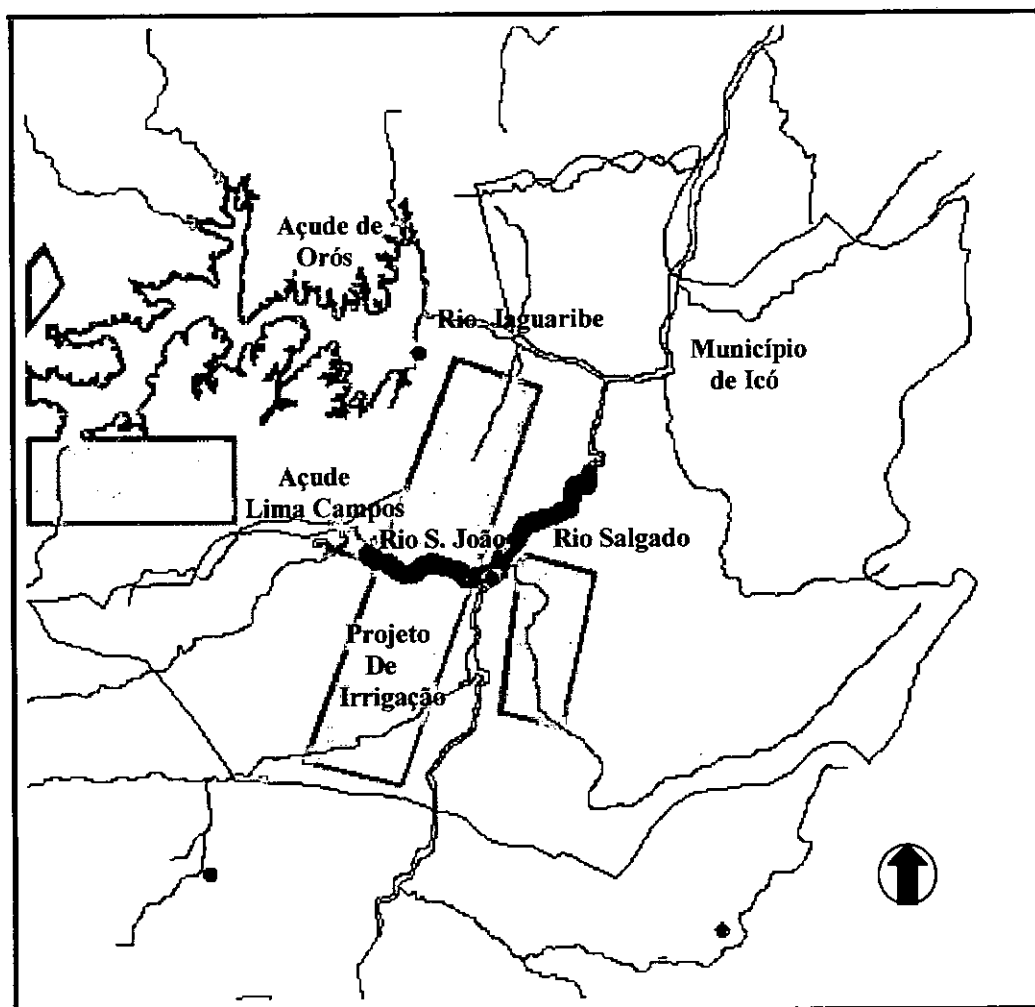


Fig. 6 – Mapa do município de Icó, também identificando os dois açudes e a área onde está instalado o projeto de Irrigação do Orós/Lima Campos, e o restante dos componentes estão identificados na legenda acima. Retirado da INTERNET, pagina: <http://atlas.secel.com.br/index.asp>.

FONTE CARTOGRÁFICA:

COGERH: açudes, adutoras, canais, fluviometria, lagoas, rios, leitos perenizados, regiões hidrográficas;

IPLANGE: malha municipal, malha viária (DNER), sedes municipais, regiões administrativas;

FUNCEME: pluviometria, vegetação, solos, uso do solo;

SEAGRI: projetos de irrigação;

CPRM: poços.

III.2 Gestão dos Recursos

Ainda conforme Furtado e 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 estaduais, 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, e não havia 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 conseqüentemente a queda do nível d'água do Lima Campos. O nível d'água em Orós ficou abaixo da cota de 189m (nível necessário para alimentar por gravidade o Lima Campos).

III.3 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 a 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 .

III.4 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 III.1 apresenta os decisores do conflito que são, os vazanteiros, os irrigantes e o COGERH, suas opções e o *Status quo*.

A tabela III.2 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 nada na reunião. Vazanteiros e

irrigantes têm como estratégias se conformar ou não com a decisão ou com a não decisão da COGERH.

Tabela III.1 – Disputa do Sistema Lima Campos/Orós: decisores, suas opções, e *status quo*.

Decisor	Nome	Opções	Status quo
1	Vazanteiros	Aceitar a decisão da COGERH	N
2	Irrigantes	Aceitar a decisão da COGERH	N
3	COGERH	Manter o 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 III.2 – 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)

A tabela III.3 nos 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 quatro primeiros estados são os estados que contam com a aceitação da decisão da 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 a 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 ($S_i(q)$) 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 $q=16$. Os irrigantes também não tem muitas opções de mudança de estado. Já a COGERH tem mais opções de mudança, podendo de cada estado se mover para outros 3 estados.

Tabela III.3 - 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}

Para as preferências considerou-se que a COGERH está interessada 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 à tomar uma decisão que não conte com a conformação de irrigantes e 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 da 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 III.5, III.6, III.7 e III.8 apresentam as funções de preferência de cada decisor para os 4 casos analisados.

Caso 1: COGERH objetiva obter um acordo e Irrigantes valorizam a solução de compromisso

A definição das funções de preferência para o caso 1 (Tabela III.4), foi feita segundo as seguintes observações:

Função *Payoff* dos Vazanteiros

A função *payoff* dos vazanteiros pode ser dividida em quatro seções englobando diferentes grupos de estados. Para os vazanteiros os piores estados são os estados em que a COGERH decide pela reivindicação dos irrigantes mantendo o nível do açude alto ($q=3$, $q=7$, $q=11$ e $q=15$). Estes estados formam a primeira seção da função *payoff* dos vazanteiros.

A seguir na lista de preferências dos vazanteiros aparece a segunda seção englobando os estados para os quais a COGERH não toma decisão ($q=4$, $q=8$, $q=12$ e $q=16$), já que os vazanteiros preferem os estados da seção seguinte onde a COGERH decide pela solução de compromisso ($q=1$, $q=5$, $q=9$ e $q=13$).

Finalmente, no topo das preferências dos vazanteiros aparecem os estados nos quais a COGERH decide manter o nível do açude baixo ($q=2$, $q=6$, $q=10$ e $q=14$).

Considerando a primeira seção, o pior é o estado $q=3$ onde a decisão da COGERH tem a aceitação tanto dos irrigantes, como deles próprios. A seguir na ordem de preferência dos vazanteiros aparece o estado $q=7$, onde eles se conformam com a decisão da COGERH e os irrigantes não. Seguem-se os estados $q=11$, onde os irrigantes não se conformam e os vazanteiros sim, e o estado preferido desta seção, é o estado $q=15$, onde vazanteiros e irrigantes seguem fazendo pressão apesar da decisão da COGERH.

Na segunda seção, o pior para os vazanteiros é o estado $q=8$ onde, apesar da COGERH não decidir nada na reunião e os irrigantes mantêm as suas reivindicações, os

vazanteiros deixam de fazer pressão. A seguir na ordem de preferência dos vazanteiros aparece o estado $q=4$, onde tanto eles quanto os irrigantes desistem de fazer pressão, e deixam a COGERH à vontade para decidir mais tarde o que achar melhor. Seguem-se os estados $q=16$, onde irrigantes e vazanteiros persistem fazendo pressão, e o estado preferido desta seção é o estado $q=12$, onde vazanteiros mantém a pressão e irrigantes desistem.

Na terceira seção da função *payoff* dos vazanteiros, o pior para os vazanteiros é o estado $q=13$ onde a decisão da COGERH pela solução de compromisso não consegue a conformação de irrigantes e vazanteiros.

A seguir na ordem de preferência dos vazanteiros aparece o estado $q=5$ onde, após a decisão da COGERH pela solução de compromisso os irrigantes mantêm as suas reivindicações e os vazanteiros deixam de fazer pressão. Seguem-se os estados $q=9$, onde vazanteiros persistem fazendo pressão e irrigantes desistem, e o estado preferido pelos vazanteiros nesta seção é o estado $q=1$, onde vazanteiros e irrigantes se conformam com a solução de compromisso.

Finalmente na quarta seção, o pior para os vazanteiros é o estado $q=14$ onde a decisão da COGERH de manter o nível baixo no açude não consegue a conformação de irrigantes e vazanteiros. A seguir na ordem de preferência dos vazanteiros aparece o estado $q=6$ onde, após a decisão da COGERH os irrigantes mantêm as suas reivindicações e os vazanteiros deixam de fazer pressão. Segue-se os estados $q=10$, onde os vazanteiros persistem fazendo pressão e irrigantes desistem, e o estado preferido pelos vazanteiros é o estado $q=2$, onde vazanteiros e irrigantes se conformam com a solução de manter o nível do açude baixo.

Função *Payoff* dos Irrigantes

A função *payoff* dos irrigantes pode ser dividida também em quatro seções englobando diferentes grupos de estados. Para os vazanteiros os piores estado são os estados em que o COGERH decide pela reivindicação dos vazanteiros de manter o nível

do açude baixo ($q=2$, $q=10$, $q=6$ e $q=14$). Este estados formam a primeira seção da função *payoff* dos irrigantes.

A seguir na lista de preferências dos irrigantes aparece a segunda seção englobando os estados para os quais a COGERH não toma decisão na reunião ($q=4$, $q=8$, $q=12$ e $q=16$), já que na hipótese deste caso, os irrigantes preferem os estados da seção seguinte onde a COGERH decide pela solução de compromisso ($q=1$, $q=5$, $q=9$ e $q=13$).

Finalmente, no topo das preferências dos irrigantes aparecem os estados nos quais a COGERH decide manter o nível do açude alto ($q=3$, $q=7$, $q=11$ e $q=15$).

Considerando a primeira seção, o pior é o estado $q=2$ onde a decisão da COGERH tem a aceitação tanto dos vazanteiros, como deles próprios. A seguir na ordem de preferência dos irrigantes aparece o estado $q=10$, onde os irrigantes se conformam com a decisão da COGERH e os vazanteiros não. Segue-se os estados $q=6$, onde eles irrigantes não se conformam e os vazanteiros sim, e o estado preferido desta seção, é o estado $q=14$, onde vazanteiros e irrigantes seguem fazendo pressão apesar da decisão da COGERH.

Na segunda seção, o pior para os irrigantes é o estado $q=12$ onde, apesar da COGERH não decidir nada na reunião e os vazanteiros prometem manter pressão visando o atendimento das suas reivindicações, os irrigantes deixam de fazer pressão.

A seguir na ordem de preferência dos irrigantes aparece o estado $q=4$, onde tanto eles quanto os vazanteiros desistem de fazer pressão, e deixam a COGERH à vontade para decidir mais tarde o que achar melhor. Seguem-se os estados $q=16$, onde irrigantes e vazanteiros persistem fazendo pressão, e o estado preferido nesta seção, $q=8$, onde irrigantes mantêm a pressão e vazanteiros desistem.

Na terceira seção, o pior para os irrigantes é o estado $q=13$ onde a decisão da COGERH pela solução de compromisso não consegue a conformação de irrigantes e

vazanteiros. A seguir na ordem de preferência dos irrigantes aparece o estado $q=9$ onde, após a decisão da COGERH pela solução de compromisso os vazanteiros mantêm as suas reivindicações e os irrigantes deixam de fazer pressão. Seguem-se os estados $q=5$, onde irrigantes persistem fazendo pressão e vazanteiros desistem, e o estado preferido nesta seção pelos irrigantes é o estado $q=1$, onde vazanteiros e irrigantes se conformam com a solução de compromisso.

Finalmente na quarta seção, o pior para os irrigantes é o estado $q=15$ onde a decisão da COGERH de manter o nível alto no açude não consegue a conformação de irrigantes e vazanteiros. A seguir na ordem de preferência dos irrigantes aparece o estado $q=11$ onde, após a decisão da COGERH os vazanteiros mantêm as suas reivindicações e os irrigantes deixam de fazer pressão. Seguem-se os estados $q=7$, onde os irrigantes persistem fazendo pressão e vazanteiros desistem, e o estado preferido pelos irrigantes é o estado $q=3$, onde vazanteiros e irrigantes se conformam com a solução de manter o nível do açude alto.

Função *Payoff* da COGERH

A função *payoff* da COGERH pode ser dividida também em quatro seções. As três primeiras englobando os estados nos quais a reunião não termina com uma solução para o conflito, ou seja vazanteiros e ou irrigantes saem da reunião não conformados. O último grupo engloba os estados nos quais a reunião resolve o conflito, e irrigantes e vazanteiros saem conformados com a decisão.

Conforme a hipótese do caso analisado, para a COGERH os piores estados são os estados em que ela decide por algum dos níveis e nenhum dos dois outros participantes da reunião se conforma com a sua decisão ($q=13$, $q=14$ e $q=15$). Este estados formam a primeira seção da função *payoff* da COGERH.

Na segunda seção da lista de preferências da COGERH aparecem os estados em que novamente a COGERH decide por algum dos níveis mas só um dos dois outros participantes da reunião se conforma com a decisão ($q=5$, $q=6$, $q=7$, $q=9$, $q=10$ e $q=11$).

A terceira seção engloba os estados onde a COGERH não decide nada na reunião ($q=8$, $q=12$ e $q=16$) e pelo menos um dentre vazanteiros e irrigantes se conforma em deixar que a COGERH decida unilateralmente após a reunião.

Finalmente, no topo das preferências da COGERH aparecem os estados nos quais o conflito é resolvido na reunião ($q=1$, $q=2$, $q=3$ e $q=4$).

Na primeira seção, os estados são ordenados segundo as preferências quanto ao nível do açude da COGERH. O pior é o estado $q=14$ onde a decisão da COGERH é pelo nível mais baixo. A seguir aparecem o estado $q=13$, correspondente ao nível médio e o estado $q=15$, correspondente ao nível alto.

Na segunda seção, os estados também estão ordenados conforme as preferências da COGERH pelos níveis. Nesta seção existem dois estados para cada decisão da COGERH quanto ao nível do açude que se diferenciam quanto ao decisor que não se conformou. Nos estados em que a decisão quanto ao nível não foi o nível de compromisso, a COGERH prefere que a conformação seja do oponente à decisão. Nos estados correspondentes a decisão de nível de compromisso, a COGERH prefere a conformação dos vazanteiros.

Na terceira seção, o pior para a COGERH é o estado $q=16$ onde irrigantes e vazanteiros mantêm a pressão pelas suas reivindicações. A seguir na ordem de preferência da COGERH aparece o estado $q=12$ onde os vazanteiros mantêm a pressão pela sua reivindicação e os irrigantes deixam de fazer pressão e o estado $q=13$ onde quem mantêm a pressão pela sua reivindicação são os irrigantes.

Finalmente na quarta seção, o pior para a COGERH é o estado $q=15$ onde a decisão da COGERH de manter o nível alto no açude não consegue a conformação de irrigantes e vazanteiros. A seguir na ordem de preferência da COGERH aparece o estado $q=11$ onde, após a decisão da COGERH, os vazanteiros mantêm as suas reivindicações e os irrigantes deixam de fazer pressão. Seguem-se os estados $q=7$, onde os irrigantes persistem fazendo pressão e os vazanteiros desistem, e o estado preferido

pela COGERH é o estado $q=3$, onde vazanteiros e irrigantes se conformam com a solução de manter o nível do açude alto.

Observamos que o estado de maior *payoff* para os vazanteiros ($q=2$) é o de menor preferência para os irrigantes, e o estado $q=3$ que é o mais preferido pelos irrigantes e pela COGERH é o menos preferido pelos vazanteiros. Podemos notar que vários estados de valor de preferência alta para os vazanteiros, são de baixa preferência para os irrigantes, e vice e versa, como por exemplo os estados $q=6$ e $q=11$, $q=7$ e $q=10$, $q=14$ e $q=15$, e, $q=2$ e $q=3$, configurando o conflito.

Por outro lado podemos observar que o estado $q=1$ tem valores elevados para a função *payoff* para vazanteiros, irrigantes e COGERH. Este estado trata-se de um acordo entre os conflitantes, em que o volume do reservatório teria um valor aproximadamente médio do solicitado pelos irrigantes e vazanteiros, tendo portanto algum grau de aceitação alto para todos os decisores.

Obviamente, vazanteiros e irrigantes preferem estados cuja solução atenda plenamente a sua reivindicação quanto ao nível do açude. Para a COGERH, apenas os estados $q=4$, onde vazanteiros e irrigantes retiram suas pressões e deixam a COGERH decidir pelo que achar melhor, e $q=3$, onde os vazanteiros aceitam a solução de manter altos níveis, são preferíveis ao estado $q=1$.

O *status quo* tem uma preferência relativamente alta para a COGERH, que, conforme a hipótese deste caso, prefere este estado a todos os outros em que ele toma uma decisão quanto ao nível e não obtém a conformação dos dois outros participantes da reunião. O *status quo* tem valores relativamente médios para os vazanteiros e irrigantes: *payoff* 7 para ambos.

Tabela III.4 - Conflito Lima Campos/Orós: estados, listas de alcance, e funções *Payoff*.

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

Caso 2: COGERH objetiva obter um acordo e Irrigantes não valorizam a solução de compromisso

As funções de transferência do caso 2 (Tabela III.5), diferem das funções de transferência do caso 1 apenas no tocante à função *payoff* dos irrigantes. No caso 2, de forma a refletir a aposta dos irrigantes na decisão unilateral da COGERH, na função

payoff dos irrigantes trocam de posição as seções 2 e 3 da função do caso 1, sem alterações nas preferências relativas dos estados de cada seção.

A troca de função de preferência dos irrigantes correspondente a este caso, acirra as características do conflito, reduzindo as chances de que a reunião termine com a decisão referente ao nível de compromisso, já que os estados correspondentes à esta decisão da COGERH ($q=1$, $q=9$, $q=5$ e $q=13$) passam a ser menos valorizados pelos irrigantes. Em contrapartida aumenta-se as chances de que a reunião termine sem decisão da COGERH. Por exemplo, a preferência dos irrigantes pelo *status quo* aumenta de 7 para 10.

Tabela III.5 - Conflito Lima Campos/Orós: estados, listas de alcance, e funções *Payoff*.

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

Caso 3: COGERH objetiva sair com uma decisão e Irrigantes valorizam a solução de compromisso

As funções de transferência do caso 3 (Tabela III.6), diferem das funções de transferência do caso 1 apenas no tocante à função payoff da COGERH. No caso 3, a função *payoff* da COGERH troca de posição em relação à função do caso 1, a seção 3, que corresponde aos estados onde a reunião termina sem decisão da COGERH e sem

concordância de vazanteiros ou irrigantes em deixar que a COGERH decida unilateralmente. Esta seção passa a ser a primeira seção da função (a menos valorizada). Logo acima desta seção insere-se o estado $q=4$, no qual a reunião termina ainda sem decisão da COGERH e com concordância de vazanteiros e irrigantes em deixar que a COGERH decida unilateralmente.

As antigas seções 1 e 2 (correspondentes aos estados onde a COGERH toma decisão e respectivamente, não consegue a conformação de nenhum dos outros participantes da reunião e consegue a conformação só de um deles) são deslocadas na lista de preferências, sem alteração nas preferências relativas dos estados, para logo acima do estado $q=4$. No topo da lista, permanecem, sem alteração nas preferências relativas, os estados $q=1$, $q=2$ e $q=3$, nos quais a COGERH toma alguma decisão e consegue a conformação dos dois outros participantes da reunião.

A troca da função de preferência da COGERH correspondente a este caso acirra as características do conflito, aumentando-se as chances de que a reunião termine sem solucionar o conflito com uma decisão da COGERH que não conte com a aprovação de algum dos participantes.

Tabela III.6 - Conflito Lima Campos/Orós: estados, listas de alcance, e funções *Payoff*.

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

Caso 4: COGERH objetiva sair com uma decisão e Irrigantes não valorizam a solução de compromisso

As funções de preferência do caso 4 (Tabela III.7), diferem das correspondentes ao caso 1 no tocante à função payoff dos irrigantes e à função da COGERH. No caso 4, nas funções payoff dos irrigantes trocam de posição as seções 2 e 3 da função do caso 1, de forma a refletir a aposta dos irrigantes na decisão unilateral da COGERH e , nas

funções payoff da COGERH trocam de posição as seções 1 e 3 de forma a refletir as preferências da COGERH por uma decisão.

Tabela III.7 - Conflito Lima Campos/Orós: estados, listas de alcance e funções *Payoff*

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

A tabela III.8 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 III.3, 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 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 anunciaria 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 $q=11$.

Tabela III.8 – Conflito Lima Campos/Orós: Estados Estáveis

Casos	Critérios								
	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

III.5 Conclusão

Os resultados da análise do conflito Lima Campos/Orós mostram que o resultado histórico é verossímil apenas debaixo da hipótese de que os irrigantes preferiam que a COGERH decidisse na reunião a favor do nível de compromisso a sair da reunião sem decisão. A análise mostra ainda como os irrigantes poderiam ter levado a COGERH a decidir pelo nível mais alto.

Os resultados mostram também que a reunião só poderia alterar o *status quo* se a COGERH adotasse uma postura dura que priorizasse sair da reunião com uma decisão, em relação à sair da reunião com um acordo. Se sair da reunião com uma decisão não fosse visto como uma necessidade imperiosa, a reunião tenderia a não alterar a situação do conflito.

Este resultado revela a importância de um sistema institucional de gestão de águas, mostrando como o poder de decisão da COGERH foi fundamental para a solução do conflito.

IV – 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 têm aparecido na literatura nacional e mesmo internacional. Neste trabalho discute-se a utilização de um modelo baseado na Teoria de Conflitos, especificamente o Modelo Grafo para Solução de Conflitos (GMCR) desenvolvido por Fang et al, 1993, na análise de disputas pelo uso de recursos hídricos no Brasil.

O item I do trabalho introduziu a Teoria dos Jogos no contexto da Gestão de Recursos Hídricos, apresentado-a em contraposição aos modelos clássicos de Otimização, que formulam os problemas considerando um único decisor com múltiplos objetivos. A argumentação principal é que uma idealização mais próxima da realidade do nosso mundo moderno, cada vez 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, e em particular do seu ramo dedicado à Modelagem de Conflitos.

A seguir o item I discutiu a Modelagem de Conflitos como ferramenta geral para o estudo sistemático de disputas em curso, do passado, ou hipotéticas. O item fez uma breve revisão e classificação dos Modelos de Conflito existentes na literatura, classificando o modelo GMCR com um modelo de jogos não cooperativos.

No item II descreveu-se os principais aspectos do desenvolvimento formal do modelo GMCR apresentados em Fang et al, 1993. Foram apresentados os componentes básicos de um modelo de análise de conflitos em termos de decisores, suas opções, estratégias e preferências. Para representar a evolução de um conflito, apresentou-se os conceitos de estágio e estado do conflito. O ingrediente chave da análise de conflito são os conceitos de estado estável e estado de equilíbrio. Um estado só é estável para um decisor se ele não considera vantagem mover o conflito deste estado através de uma

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

Apresentou-se ainda a importante noção de Critérios de Estabilidade, definições matemáticas precisas de como a estabilidade pode ser calculada em função de uma descrição do possível comportamento humano ou social em uma situação de conflito. Discutiu-se os diversos critérios de estabilidade utilizados na literatura (Nash, Metaracionalidade Geral e Simétrica, Seqüencial, L_h e Não Míope) no sentido qualitativo, de acordo com a “visão de futuro” e a “propensão à recuo”. Na caracterização “visão de futuro” é descrito a habilidade do decisor para considerar os possíveis movimentos que o conflito pode tomar no futuro. Na caracterização “propensão à recuo”, analisa-se se o decisor tem um comportamento estratégico, admitindo promover uma mudança unilateral temporária no conflito para um estado pior de acordo com as suas preferências (piora unilateral), para mais tarde poder alcançar um estado de maior preferência.

A seguir descreveu-se como, no modelo GMCR, o conflito pode ser representado por um conjunto de grafos direcionados finitos e de funções *payoff* referentes a cada decisor i . O conjunto de vértices de todos os grafos representam os estados possíveis do conflito. Os arcos representam transições entre os estados e são definidos levando-se em conta apenas as mudanças unilaterais possíveis para o decisor correspondente ao grafo. As funções *payoff* representam a ordem de preferência dos estados de cada decisor. Fornecem-se as equações para a análise de estabilidade de conflitos com 2 decisores e com mais de 2 decisores, segundo os diversos critérios de estabilidade.

O capítulo II terminou com a apresentação de 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. Neste caso, o outro fazendeiro requer indenização sempre que houver uma estiagem.

Foram considerados um caso base e três casos alternativos, diferenciados do caso base em relação à reversibilidade das decisões e à avaliação individual de cada fazendeiro da decisão de construir seu reservatório privado. A análise dos resultados dos quatro casos em conjunto mostrou um padrão interessante. Nos dois casos 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 nos casos onde a atratividade do reservatório privado é a mesma, as negociações em torno da construção do reservatório em condomínio se mostram bastante estáveis.

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.

No capítulo III o modelo foi aplicado a uma disputa no sistema de açudes Lima Campos/Orós no Ceará, descrita em Furtado e Campos, 1997. Irrigantes localizados a jusante do açude de Lima Campos e beneficiários da perenização dos rios à jusante 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 vazanteiros à montante, 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. Os vazanteiros pretendem manter o volume do açude em 33 milhões de m^3 e os irrigantes reivindicam 50 milhões de m^3 . No conflito a COGERH (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos) age como árbitro entre vazanteiros e irrigantes. No entanto, como responsável pela perenização dos rios de domínio estadual, ela tem suas preferências pelo nível mais alto. 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 .

Na aplicação foi considerada a situação antes desta reunião. 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. Duas hipóteses foram feitas quanto às preferências da COGERH. Numa delas a COGERH prioriza a obtenção de um acordo, e na outra a COGERH prioriza sair da reunião com uma decisão. Duas hipóteses foram feitas quanto às prioridades dos irrigantes. Numa delas os irrigantes preferem a decisão pelo nível de compromisso à sair da reunião sem uma decisão, na outra, o oposto. Os resultados mostraram que o resultado histórico (acordo no nível de volume 39,5 milhões de m³) é verossímil apenas debaixo da hipótese de que os irrigantes preferiam que a COGERH decidisse na reunião a favor do nível de compromisso a sair da reunião sem decisão. A análise mostrou ainda como os irrigantes poderiam ter levado a COGERH a decidir pelo nível mais alto. Uma explicação possível para isto não ter ocorrido, foi por falta de informação por parte dos irrigantes sobre as preferências da COGERH. Os resultados mostraram também que a reunião só poderia alterar o *status quo* se a COGERH adotasse uma postura dura que priorizasse sair da reunião com uma decisão, em relação à sair da reunião com um acordo. Se sair da reunião com uma decisão não fosse visto com uma necessidade imperiosa, a reunião tenderia a não alterar a situação do conflito. Este resultado revela a importância de um sistema institucional de gestão de águas, mostrando como o poder de decisão da COGERH foi fundamental para a solução do conflito.

Em resumo, nesta investigação acerca das potencialidades do uso de modelos de 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. Sugere-se que a continuação da pesquisa deve agora se concentrar em aplicações do modelo a casos históricos e/ou em curso onde as hipóteses quanto às preferências dos decisores sejam validadas. Existem no Brasil de hoje diversas disputas pelo uso d'água em curso. Talvez a mais importante no momento seja a disputa em torno do uso d'água do rio São Francisco, sendo de todo interessante conhecer os resultados de uma análise deste conflito com o modelo GMCR. Em termos teóricos, uma deficiência do modelo é a hipótese de que todos os decisores conhecem as

estratégias e funções de preferência de seus oponentes. Um aprimoramento de interesse prático a ser feito no modelo é a consideração da disponibilidade desta informação para os decisores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAGA Jr., B. P. F., 1997, "Técnicas de Otimização e Simulação Aplicadas em Sistemas de Recursos Hídricos". In: Porto, R. L. L., Sant'ana, R. F., Damázio, J. M. (eds), *Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos*, 1 ed., capítulo 5, São Paulo, SP, Brasil, Nobel/ABRH.
- BRAMS, S. J., WITTMAN, D., 1981, "Nonmyopic Equilibria in 2 x 2 Games", *Conflict Management and Peace Science*, Vol. 6, pp. 39-62.
- BRASIL, "Lei 9433, de 08 de janeiro de 1997". Disponível na INTERNET via [Http://www.customw/ecoweb/leyes/br/ley9433.htm](http://www.customw/ecoweb/leyes/br/ley9433.htm). Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Arquivo consultado em 19/03/1999.
- FANG, L., HIPEL, K. W. e KILGOUR, M., 1988, "The Graph Model Approach to Environmental Conflict Resolution", *Journal of Environmental Management*, Vol 27, pp., 195-212.
- FANG, L., HIPEL, K. W. e KILGOUR, M., 1993, *Interactive Decision Making*. 10 ed. New York, USA, Copyright.
- FRASER, N. M., e HIPEL, K. W., 1979, "Solving Complex Conflicts", *Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, IEEE, Vol. SMC-9, pp. 805-817.
- FRASER, N. M., e HIPEL, K. W., 1984, "*Conflict Analysis: Models and Resolutions*". North-Holland, New York.
- 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". In: *12º Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Vol. 1, pp. 9 – 15, Vitória, ES.

- HIPEL, K. W., FRASER, N. M., 1980, "Metagame Analysis of the Garrison Conflict", *Water Resources Research*, Vol. 17, N° 4, pp. 627-637.
- HOWARD, N., 1971, *Paradoxes of Rationality*. MIT Press, Cambridge, MA.
- KILGOUR, D. M., 1984, "Equilibria for Far-sighted Players", *Theory and Decision*, Vol. 16, pp. 135-157.
- KILGOUR, D. M., 1985, "Anticipation and Stability in Two-Person Noncooperative Games". In: Ward, M. D. and Luterbacher, U. (eds), *Dynamic Models of International Conflict*, Lynne Rienner Press, Boulder, CO, pp. 26-51.
- KILGOUR, D. M., HIPEL, K. W. e FANG, L., 1987, "The Graph Model for Conflicts", *Automática*, Vol. 23, N°1, pp. 41-55.
- NASH, J. F., 1950, "Equilibrium Points in n-person Games", *Proceedings of National Academy of Sciences of U.S.A.* , Vol. 36, pags. 48-49.
- NASH, J. F., 1951, "Noncooperative Games", *Annals of Mathematics*, Vol. 54, N° 2, pp. 286-295.
- SZIDAROVSKY , F., 1989, "On a General Scheme in the Theory of Conflicts", *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 34, pp.29-37.
- VON NEUMANN, J., 1928, "Zur Theorie der Gessellschaftsspiele", *Mathematische Annalen*, Vol. 100, pp. 295-320.
- VON NEUMANN, J., MORGENSTERN, O., (1944, 1953), *Theory of Games and Economic Behavior*. 1ª ed. 1944, 3ª ed 1953, Princeton University Press, Princeton, NJ.

ZAGARE, F.C., 1984, "Limited-move Equilibria in 2x2 Games", *Theory and Decision*,
Vol. 16, pp1-19.