

# ANÁLISE SISTÊMICA DO INVESTIMENTO NA BACIA DO RIO VERDE GRANDE: MODELAGEM E ESTIMAÇÃO DE TRAJETÓRIAS

Newton Paulo Bueno  
Universidade Federal de Viçosa  
Orientador

Amanda Reis Almeida Silva  
Universidade Federal de Viçosa  
Aluna

## RESUMO

O objetivo do trabalho é analisar a região da bacia hidrográfica do Rio Verde Grande utilizando dinâmica de sistemas. Através de um modelo sistêmico dinâmico geral a população foi analisada como uma variável influenciada por vários fatores e observado seu comportamento no longo prazo e como este pressiona a base de recursos. Os resultados encontrados mostram que a população cresce, mas a demanda hídrica é quase toda composta pela irrigação. Esse crescimento ao promover o aumento da atividade econômica irrigante fará aumentar também a demanda hídrica, o que eleva a probabilidade de ocorrência de conflitos pelo seu uso da água.

Palavras-chave: Dinâmica de sistemas, irrigação, conflitos, demanda hídrica.

Sessão Temática: Economia Mineira, E6 – Agricultura, indústria e serviços em Minas Gerais.

## 1. Introdução

A análise da dinâmica da população e suas inter-relações com outras variáveis como disponibilidade de terras e de água foi aplicada à Bacia do Rio Verde Grande com a utilização de um modelo sistêmico.

Em etapa anterior deste trabalho, descrita no relatório semestral, o modelo dinâmico foi aplicado à Bacia do Rio Paracatu, que foi dividida em sub-regiões denominadas unidades geo-ambientais (UGAs), de acordo com características comuns entre elas. Verificou-se através da análise sistêmica que algumas UGAs encontravam em situação crítica de déficit hídrico, e outras, de acordo com a simulação, muito próximas de chegar a essa situação, sendo assim muito propícias ao surgimento de conflitos pelo uso da água ou agravamento dos já existentes, como no caso da UGA Alto Rio Preto.

Nesta etapa final, o modelo aperfeiçoado foi aplicado à bacia do Rio Verde Grande que situa-se na porção norte de Minas Gerais e sudoeste do Estado da Bahia, abrangendo uma superfície aproximada de 31.000 km<sup>2</sup>, dos quais cerca de 87% pertencem a Minas. Ela abrange total ou parcialmente vinte e seis municípios mineiros e oito baianos, tendo como principal pólo regional a cidade de Montes Claros, com população urbana de 288.534 habitantes, segundo dados do Censo 2000, seguido de Janaúba, com 53.626 habitantes, que vem se consolidando como importante centro de desenvolvimento econômico, em decorrência da expansão da fronteira agrícola.

O modelo será focado na parte mineira da bacia, que pode ser dividida em três micro-regiões polarizadas pelas cidades de Montes Claros, Janaúba e Bocaiúva. Em todas as micro-regiões, a agricultura tem uma participação importante no PIB, figurando em Janaúba como setor principal.

O desenvolvimento econômico da região foi impulsionado entre as décadas de 70 e 80 quando o governo mineiro empreendeu um esforço concentrado de planejamento regional, com o objetivo de alcançar a redistribuição espacial do crescimento econômico, o que coincidiu com o Programa Nacional de Irrigação – PRONI do Governo Federal que foi um grande estímulo à agricultura irrigada na bacia. Pouco antes disso, em 1975, já se havia iniciado a implantação do primeiro projeto público de irrigação na bacia, o Perímetro Irrigado de Estreito, e a CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba) iniciou a implantação do Perímetro Irrigado do Gorutuba, em 1978, após a construção da barragem do Bico de Pedra. Esses dois projetos, aliados aos incentivos do PRONI à agricultura irrigada, serviram de impulsionadores dessa atividade na bacia, atraindo empresários do setor privado e redirecionando a economia regional. No entanto, as metas do governo, baseadas no incremento da área irrigada total, levaram a superação dos limites da disponibilidade hídrica dessa bacia.

Os primeiros registros de conflito entre usuários da água surgiram em fins de 1988 e se processavam em diversos níveis, principalmente entre agricultores e pecuaristas, entre pequenos e grandes usuários agrícolas e mesmo entre usuários de outras atividades econômicas e os que precisavam da água para suas necessidades básicas. Atualmente esses conflitos persistem e o grande potencial de solo e topografia favoráveis à expansão da agricultura irrigada da região contrasta com uma baixa disponibilidade hídrica, agravada pelo comprometimento da qualidade nas áreas de maior concentração urbana e de atividade agrícola mais intensiva. Em acréscimo a esse quadro de reduzida disponibilidade hídrica, há que considerar, também, a base tecnológica instalada para apropriação e uso da água na agricultura, ainda com predomínio de métodos de irrigação pouco compatíveis com a situação de reduzida disponibilidade hídrica da bacia.

Associado a isso a região apresenta indicadores desenvolvimento humano insatisfatórios, segundo dados do Atlas do Desenvolvimento Humano, e uma distribuição de renda ruim, o que vem agravar a situação dos municípios situados na bacia. A análise da dinâmica desses fatores inter-relacionados e seu comportamento no longo prazo permitem a visualização de soluções mais eficazes para problemas que já se tornaram crônicos na sociedade.

Foi delineado, então, um modelo capaz de possibilitar uma análise sistêmica das principais inter-relações entre o crescimento econômico, populacional e os limites para ampliação da agricultura

irrigada para as três micro-regiões que compõe a Bacia, estimando a demanda futura de água e um possível risco ambiental decorrente da restrição de disponibilidade hídrica. A demonstração intertemporal do comportamento populacional possibilita uma visualização mais clara de locais que sejam mais prováveis de ocorrer conflitos pela base de recursos naturais, ou um agravamento dos já existentes, e, portanto, onde serão necessários maiores investimentos para mitigar esses conflitos.

Para a construção do modelo é importante a identificação de arquétipos sistêmicos geralmente presentes em situações de interação social e assim poder construir um modelo sistêmico geral que possibilite a realização de análises de causa e efeito entre as diversas variáveis envolvidas e os principais obstáculos ao desenvolvimento da região em questão. Com isso pretende-se mostrar que as causas reais dos problemas podem ser bem maiores do que as aparentes e através da identificação de arquétipos é possível demonstrar que soluções de curto prazo aplicadas por agentes econômicos ou pelo governo podem não ser o melhor remédio podendo, inclusive, ser motivo de agravamento da situação indesejada.

Este modelo dinâmico ao mostrar o comportamento de longo prazo de variáveis selecionadas pode vir a tornar claro que mesmo as pessoas e agentes econômicos interagindo repetidamente não conseguem agir coletivamente em empreendimentos que exigem maior comprometimento dos indivíduos, e as estratégias individuais podem chegar a um resultado final muito diferente do inicialmente previsto pelas partes envolvidas, que levam a gargalos comprometedores do desenvolvimento de toda a região. O modelo de análise sistêmica objetiva justamente prever esses resultados que provêm de estratégias individuais e que geralmente prejudicam o todo da sociedade e com esse instrumental poder chegar a conclusões que levem a soluções de cooperação, ou seja, soluções que levem a um bem estar geral da sociedade analisada.

## **2. Objetivos**

O objetivo geral deste trabalho é analisar o impacto da expansão das atividades econômicas, notadamente da agricultura irrigada, e também do crescimento populacional sobre a disponibilidade de água na Bacia do Rio Verde Grande, principalmente no longo prazo, utilizando a dinâmica do modelo sistêmico construído para a bacia. Especificamente, o trabalho visa avaliar a possibilidade de ocorrência de conflitos no uso de água na região nos próximos anos, principalmente devido à expansão da atividade irrigada.

## **3. Material e Métodos**

A dinâmica de sistemas é uma metodologia desenvolvida para estudar sistemas complexos, como o que se analisa neste trabalho. As técnicas incluídas nessa abordagem, empregadas hoje em estudos aplicados em campos tão distintos do conhecimento como política internacional, ecologia, gestão de recursos naturais e economia, entre outros, começaram a ser desenvolvidas pelo pesquisador do Massachusetts Institute of Technology Jay Forrester nos anos 60, em uma série de estudos clássicos sobre economia regional.

Muitos sistemas apresentam complexidade de detalhes ou combinatória, isto é, intrincadas teias de relações entre componentes, o que torna difícil senão impossível compreender sua dinâmica sem modelos detalhados construídos com base em conhecimento especializado. Os esquemas que reproduzem os circuitos do sistema elétrico de um avião, por exemplo, são certamente complexos neste último sentido, mas um engenheiro qualificado será sempre capaz de identificar a fonte de um defeito como um relê danificado, que, substituído, sanará o problema.

Não é o este o sentido de complexidade que se está considerando. A complexidade sistêmica decorre basicamente do fato de que a interação entre os componentes de um sistema ocorre em loops de feedback negativos e positivos em que causas e efeitos encontram-se afastados no tempo por delays. Nessas condições, as ações individuais em partes aparentemente isoladas dos sistemas podem dar origem a reações em outras partes em momentos posteriores às quais alterarão as condições sob as

quais os primeiros indivíduos tomaram as decisões que deram início ao processo. O resultado é que, em sistemas dinamicamente complexos, essas decisões em geral produzirão conseqüências não intencionais para quem as toma.

Um exemplo de sistema dinamicamente complexo, mas simples em termos de detalhes, é apresentado no diagrama de influências abaixo<sup>1</sup>

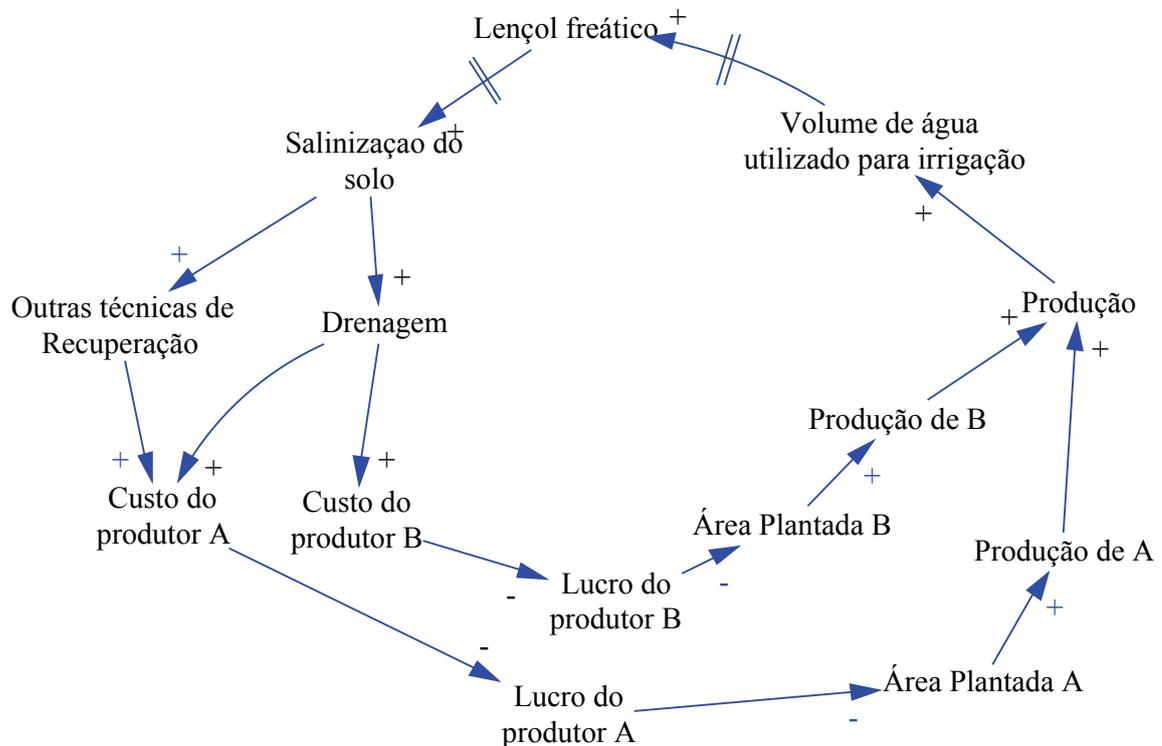


Figura 1: Modelo sistêmico baseado no arquétipo “Tragédia dos Comuns”.

A primeira relação no topo do diagrama indica que o aumento do volume de água utilizada para irrigação eleva, com uma defasagem de tempo, o nível do lençol freático no subsolo. A polaridade da seta (+) indica a existência de uma relação direta entre as variáveis e a marca com duas retas perpendiculares sobre a seta, a presença de um delay temporal entre causa e efeito. A elevação do lençol freático aumenta, após um tempo, a salinização do solo, elevando os custos unitários de produção principalmente pela necessidade de drenagem. O aumento dos custos de produção força os produtores a tentar a aumentar a produção, aumentando a área plantada, de modo a manter sua renda líquida (supõe-se que o capital empregado não pode ser facilmente transferido para outras atividades). Mas para fazê-lo é preciso aumentar o consumo de água, o que agrava o problema inicial. Observe-se que este ciclo perverso não se deve necessariamente ao fato de que os produtores não percebem a irracionalidade com que exploram a água e o solo, mas à inconsistência entre interesses individuais e interesse coletivo. Mesmo que um produtor se conscientizasse da gravidade do problema e passasse a economizar água aceitando uma queda na sua renda, se os demais não fizessem a mesma coisa, o grau de salinização do solo aumentaria de qualquer modo. Isto indica que, nessas condições, a estratégia dominante para cada indivíduo será aumentar a produção e o consumo de água, levando à redução ou mesmo à exaustão do recurso a longo prazo, o que é evidentemente um resultado coletivo irracional de ações racionalmente planejadas.

<sup>1</sup> Este modelo foi desenvolvido para o perímetro irrigado Nilo Coelho em Petrolina/PE com base no arquétipo sistêmico da “tragédia dos comuns”,

Um outro exemplo que pode ajudar a compreender a essência da metodologia é o dado por Forrester (1969) em um dos estudos pioneiros do campo. Nesse estudo, o autor mostrou que, diferentemente do que poderia sugerir o senso comum, a degradação social e física dos centros das grandes cidades americanas não derivava do declínio econômico desses locais, mas do fato de que a concentração populacional nesses centros comprometia a qualidade de vida, ao, por exemplo, elevar os índices de criminalidade e tornar insuficiente a infra-estrutura de saúde e educação, não importa o quanto crescessem os investimentos públicos nesses itens. A tentativa de recuperar economicamente essas regiões, aliás, parecia agravar o declínio ao invés de contribuir para reverter essa tendência, porque induzia as pessoas a permanecerem nos centros urbanos ao invés de se deslocarem para outras regiões menos populosas.

Em sistemas, os componentes encontram-se conectados em estruturas que apresentam propriedades diferentes das apresentadas individualmente por seus componentes porque estes estão sujeitos a ciclos de feedbacks positivos e negativos. A consequência disso é que variações em alguns elementos do sistema produzem variações em outras partes, após defasagens de tempo, as quais os agentes relevantes desconhecem ou deixam de levar em conta adequadamente em seus cálculos. Assim, por exemplo, a construção de novas habitações ou reformas das moradias antigas melhoram temporariamente as condições de vida nos centros das grandes cidades, mas, com o passar do tempo, tende a atrair mais moradores dos subúrbios para as regiões centrais, o que acabará por agravar os problemas iniciais. Nesse caso, a ação de construir novas moradias é em geral induzida pelas pressões por parte da população por meio de um elo de feedback negativo no curto prazo: isto é, a piora nas condições de vida gera uma resposta compensatória, ou de equilíbrio, do sistema, a saber, a construção de novas moradias, o que tende a melhorar as condições de vida iniciais. No longo prazo, entretanto, manifesta-se um ciclo de feedback positivo, que amplifica a variação inicial: a degradação das condições de vida leva a ações que, embora sejam benignas no curto prazo, de fato tendem a agravar os problemas iniciais, atraindo mais moradores para os centros urbanos. Nestas condições, ações intencionais sobre o sistema, que isoladamente são benignas, podem gerar efeitos finais indesejáveis, os quais não podem ser associados às estratégias individuais de qualquer dos agentes relevantes; na linguagem da teoria dos sistemas complexos, diz-se que, nesses casos, o resultado final emerge. Identificar os principais loops de feedback, bem como as defasagens de tempo envolvidas entre as variáveis inter-relacionadas nesses loops, visando avaliar os efeitos não intuitivos de estratégias concorrentes de intervenção, é o objetivo da análise sistêmica.

A primeira etapa de um estudo sistêmico é a construção de diagramas de influências, em que os principais loops de feedback envolvidos no problema estudados são identificados. A título de ilustração, é útil observar como passar de uma apresentação meramente descritiva, como a realizada acima, para uma análise verdadeiramente sistêmica. O diagrama de influências abaixo representa os loops de feedback mencionados no exemplo acima<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Uma versão educacional do software VENSIM, utilizado neste trabalho para construir diagramas de influências e os modelos computacionais, bem como para realizar as simulações, pode ser obtida gratuitamente através de *download* da página: [www.vensim.com](http://www.vensim.com). Muitas sugestões bibliográficas úteis, inclusive *road maps*, podem ser encontradas na página [www.systemdynamics.org](http://www.systemdynamics.org). Para uma amostra bastante representativa dos trabalhos mais recentes, ver textos apresentados na última conferência internacional da System Dynamics Society disponíveis na página acima. O livro texto mais completo sobre assunto é Sterman (2000), já Senge (2002) fornece a mais conhecida introdução não técnica à análise sistêmica

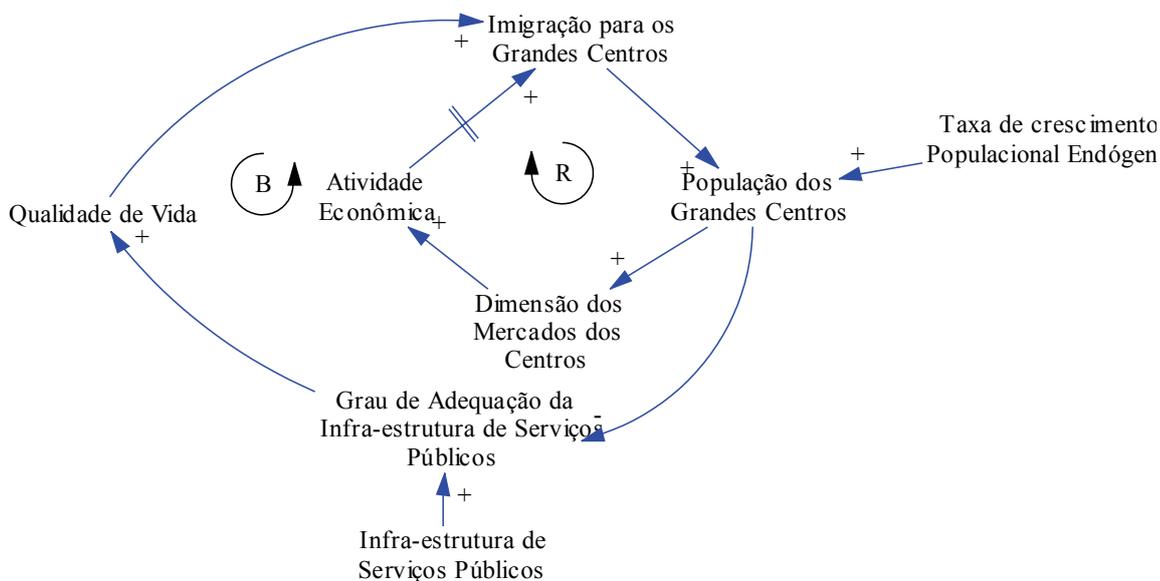


Figura 2: Diagrama com loops de reforço e de equilíbrio

As setas, como já assinalado, indicam que as variáveis movimentam-se na mesma direção (polaridade positiva) ou em direção inversa (polaridade negativa). Assim, por exemplo, a imigração para os grandes centros urbanos aumenta a população desses centros, o que reduz o grau de adequação da infra-estrutura de serviços públicos. As letras no interior dos semi-círculos indicam que as variáveis relacionam-se em um loop de feedback positivo ou de reforço (R) ou de feedback negativo ou de equilíbrio (B). O sinal do loop é obtido multiplicando-se os sinais das relações individuais. Por exemplo, o aumento populacional tende a aumentar a atividade econômica dos grandes centros e assim a atrair ainda mais população, isto é o produto dos sinais é positivo e o loop é de reforço.

Observe-se que, no longo prazo, o crescimento populacional dos grandes centros poderia em tese ser detido endogenamente devido à ação do loop de feedback negativo na parte inferior do diagrama, que mostra que a piora da qualidade de vida tenderia, com o tempo, a reduzir os incentivos para a imigração. Mas se o governo responder a esse declínio da qualidade de vida aumentando os investimentos em infra-estrutura, essa ação compensará o efeito estabilizador do loop negativo. É fácil ver então que a estratégia racional para enfrentar o problema seria, contra-intuitivamente, reduzir os incentivos para o crescimento econômico nos grandes centros, por exemplo aumentando os impostos sobre a propriedade de imóveis nessas regiões. O processo de feedback positivo passaria a operar então no sentido virtuoso de reduzir a super-população, sendo além disso potencializado pelo loop negativo, que implica que o declínio populacional levará a melhorias nos indicadores de qualidade de vida.

Note-se finalmente que há um complicador adicional no processo. Como em geral existe uma defasagem de tempo relativamente grande entre causas e efeitos, pode demorar para o fluxo imigratório para as regiões centrais se reduzir em resposta à redução intencional da atividade econômica (a marca de duas linhas paralelas na seta correspondente indica que existe um delay na relação correspondente). Neste caso, pode muito bem acontecer que a qualidade de vida piore muito ainda antes de começar a melhorar em razão da política adotada. A população continuará a aumentar durante algum tempo devido a imigração, mas a oferta de empregos diminuirá, o que irá deteriorar ainda mais as condições de vida, antes que o ciclo finalmente se reverta. Essa é uma situação comum quando se tenta atuar sobre sistemas complexos e é uma das principais razões que explicam porque é tão difícil para os governos adotar políticas de longo prazo consistentes.

A interação em situações de complexidade, entretanto, ocorre como identificado por pesquisadores do Massachusetts Institute of Technology, em estudos aplicados, obedecendo a padrões denominados de arquétipos sistêmicos.

Assim como no modelo para a bacia do Rio Paracatu, a construção do modelo para a bacia do Rio Verde Grande se deu utilizando a abordagem sistêmica. Esta abordagem, portanto, nos permite, pelo menos parcialmente, endogeneizar a dinâmica de longo prazo dos parâmetros do modelo. Nela abre-se a possibilidade de não apenas os indivíduos alterarem suas estratégias em respostas as estratégias dos demais, como de o meio ambiente institucional, econômico e mesmo natural em que esses indivíduos vivem, evoluir em resposta a essas decisões.

Com a utilização da técnica de dinâmica de sistemas, o Grupo de Sistemas Dinâmicos do MIT/EUA desenvolveu nos últimos anos sistemas genéricos que representam uma ampla gama de situações, os chamados arquétipos de sistemas. Tais arquétipos vêm sendo adaptados para estudar a dinâmica de processos tão aparentemente distintos como o trânsito nas grandes cidades, o consumo de drogas e a evolução da criminalidade, a utilização de recursos comuns não renováveis e as transições entre paradigmas tecnológicos (para um resumo dessas aplicações, ver Maani e Cavana, 2000 e Sterman, 2000).

O modelo específico para a Bacia do rio Verde Grande foi construído com base num dos arquétipos mais comuns identificados pela dinâmica de sistemas: o arquétipo sucesso para os bem sucedidos, que é bastante esclarecedor para compreender as relações entre economia e meio ambiente e facilitará uma explicação posterior do modelo construído nesse trabalho.

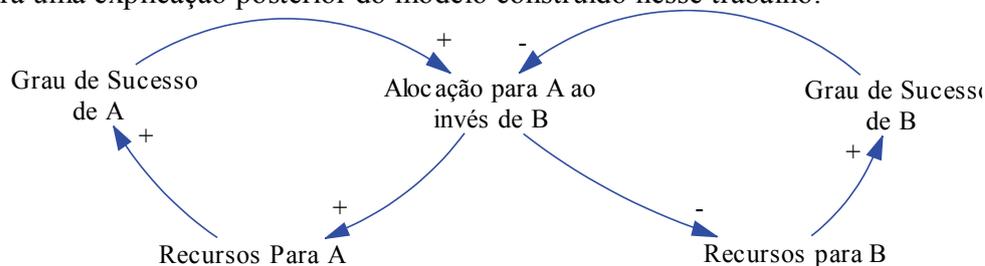


Figura 3: Arquétipo sistêmico “Sucesso para os bem sucedidos”.

Este arquétipo demonstra que uma vantagem inicial para o agente A lhe confere acesso privilegiado a recursos produtivos (a polaridade da seta (+) indica a existência de uma relação direta entre as variáveis), o que aumenta seus ganhos e assim lhe permite obter ainda mais recursos produtivos. Em contrapartida, os recursos de B tendem a se reduzir cada vez mais (a polaridade da seta (-) indica a existência de uma relação indireta entre as variáveis). O resultado de processos como esses é que parte dos agentes concentrará os recursos da sociedade e os demais serão reduzidos a pauperização.

Esse arquétipo foi utilizado na construção do modelo para a Bacia pois ele traduz o processo de concentração que ocorre na região, onde as áreas com melhores solos e condições climáticas são as que reúnem a maior parte da agricultura irrigada e tem maior crescimento econômico e populacional, excetuando a cidade de Montes Claros que apresenta considerável desenvolvimento industrial e do setor terciário. Essa situação tende a se auto reforçar até atingir o limite da disponibilidade hídrica da região, enquanto as demais áreas da bacia continuam estagnadas. Além disso, a pressão sobre a disponibilidade hídrica tende a agravar os conflitos pelo uso da água, que tendem a ser mais custosos para a população pobre do que para os agricultores praticantes da irrigação.

Outro arquétipo bastante comum na dinâmica de sistemas e que pode ser utilizado para explicar o modelo principal é a Tragédia dos Comuns publicado no texto de Garret Hardin em 1968, sendo também importante para estudos em economia de recursos ambientais :

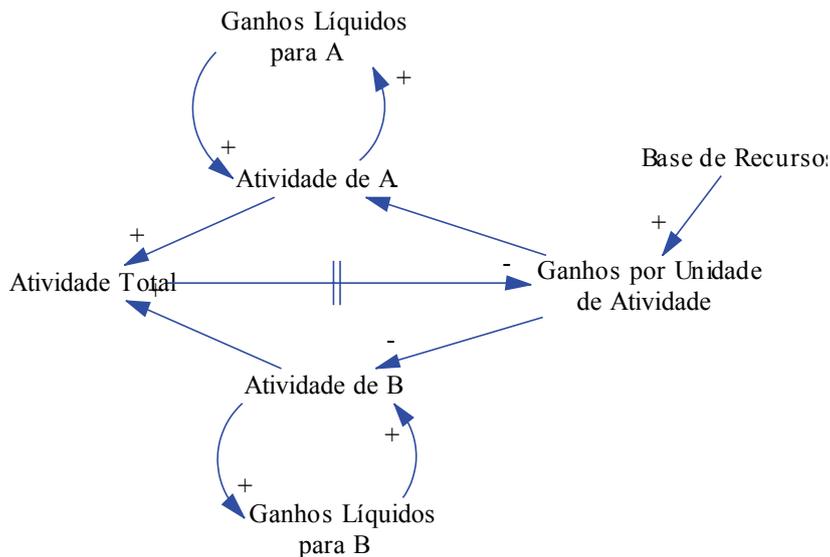


Figura 4: Arquétipo sistêmico “Tragédia dos Comuns”.

O aumento do nível de atividade do agente A eleva seus ganhos no curto prazo, mas aumenta o nível total de atividade. Esse aumento de produção, entretanto, pressiona a base de recursos utilizada nesse tipo de atividade, e assim reduz a produtividade e os ganhos de A no longo prazo. Além disso um ponto importante é que o fato de A aumentar seu nível de produção reduz os ganhos também de B no longo prazo (visto que a disponibilidade de recursos reduz para todos os produtores que a compartilham). Assim será racional do ponto de vista de B intensificar a produção (e o uso da base de recursos) para proteger seus rendimentos diante da ação de A. A dinâmica desse processo é cumulativa levando ao esgotamento da disponibilidade de recursos. Esse é um arquétipo muito comum em situações que envolvem questões ambientais e que apresentam geralmente problemas de provisão e distribuição de recursos comuns.

Estes arquétipos serão conectados em um modelo geral o qual será simulado e calibrado. O procedimento de calibração consiste em determinar a combinação de parâmetros que minimiza o erro entre valores simulados e observados das variáveis de controle do modelo sistêmico construído, o que permite fazer inferências sobre parâmetros expectationais, como a disposição natural de cooperar dos indivíduos em uma comunidade, e parâmetros climáticos, como a intensidade e a severidade das secas. Ou seja, calibrar um modelo significa encontrar os valores das constantes que geram trajetórias das variáveis endógenas que melhor se ajustam aos dados reais correspondentes. Embora a calibração possa, em princípio, ser feitas manualmente reduzindo os erros entre valores simulados e reais para cada variável, o software VENSIM permite calibrar automaticamente modelos complexos com grande número de variáveis endógenas e parâmetros.

#### 4. Referencial bibliográfico

Existe hoje um enorme acervo bibliográfico sobre dilemas sociais presentes em situações de utilização de recursos comuns. Uma teoria que explica vários desses dilemas é a teoria da ação coletiva. A contribuição fundamental de Mancur Olson, formulador original da teoria moderna da ação coletiva, foi demonstrar que, diferentemente da famosa proposição neo-institucionalista conhecida como Teorema de Coase, mesmo em um mundo onde os custos de transação fossem negligíveis, as instituições seriam importantes para explicar o desenvolvimento econômico. O argumento formulado inicialmente por ele (1965) e desenvolvido mais recentemente por Hardin (1982) e Bates (1995) é o seguinte.

Muitas vezes é impossível alcançar soluções cooperativas por negociação. Existem situações, como já dito anteriormente, definidas como dilemas sociais, em que, por razões associadas por exemplo à existência de externalidades, as sociedades são incapazes de alcançar configurações eficientes no sentido paretiano, porque indivíduos e firmas, agindo racionalmente, irão engajar-se excessivamente na produção de bens que geram externalidades negativas e deixarão de produzir bens e serviços que geram externalidades positivas, esperando que outros o façam por eles. Nessas condições o teorema de Coase deixaria de ser válido não apenas porque existem custos de transação que impedem que as pessoas negociem de forma a alocar privadamente os custos implicados pelas externalidades. A razão principal porque as instituições que garantiriam a eficiência social não são em geral adotadas é que essas instituições não interessam a grupos de indivíduos capazes de se organizar politicamente para se beneficiar de comportamentos do tipo *free rider e rent seeker* (carona). As negociações que os novos economistas institucionais supõem serem a fonte do processo de evolução institucional, em outras palavras, se dão dentro de estruturas formadas na arena política.

Essa situação configura-se em um dilema do prisioneiro clássico. A estratégia dominante para os agentes nesse caso é não cooperar e assim a cooperação não deixa de ocorrer simplesmente porque os agentes não consigam coordenar suas ações, em razão por exemplo dos elevados custos de transação envolvidos. Mas porque se decidirem cooperar unilateralmente os demais terão incentivos para deixar de cooperar. Isto é, a solução cooperativa não é um equilíbrio de Nash, neste caso, diz-se que ocorre um dilema social de segunda ordem. Em grandes grupos, isto significa que será uma estratégia racional tentar “pegar carona” nos benefícios da cooperação ao invés de contribuir para alcançar esta situação. Nessas condições, em um mundo em que os agentes agem racionalmente (da forma como se define no presente trabalho), a estratégia dominante para cada agente será não cooperar (atuando como *free rider* ou *rent seeker*) e o equilíbrio ineficiente em termos de Pareto da não cooperação prevalecerá. Estudos mais recentes por teóricos de jogos (ver por exemplo Axelrod, 1997, cap. 1) e autores neo-institucionalistas (ver entre outros Putnan, 1993 e Ostrom, 1999, 2000) têm indicado que em grupos relativamente pequenos, em que os agentes interagem repetidamente por longos períodos de tempo, esse tipo de obstáculo à cooperação pode ser superado por meio da confiabilidade inter-pessoal acumulada pelo grupo ou comunidade.

Dessa forma, indivíduos agindo racionalmente, isto é, utilizando eficientemente as informações disponíveis visando proteger seus interesses, freqüentemente se vêem aprisionados em situações do tipo *dilema do prisioneiro* ou em situações em que existe um dilema de ação coletiva, o que leva ao resultado socialmente irracional de esgotamento da base de recursos. Isso pode ser adaptado para a situação da bacia em que os agricultores irrigantes intensificam o uso da água para aumentar seus ganhos pressionando a base deste recurso que é compartilhado por toda a sociedade da região.

O dilema caracterizado na bacia do Rio Verde Grande envolvendo recursos escassos, no modelo considerados a terra e a água, sendo esta já alvo de conflitos em algumas localidades, como dito anteriormente, pode ser enquadrado em temas já abordados pela literatura internacional. Esta demonstra que dilema de conflitos por recursos escassos é difícil de resolver em comunidades onde os agentes não participam da elaboração das normas institucionais e nem da concepção e da implementação das ações, como costuma acontecer por exemplo na implantação de projetos de irrigação por governos de países em desenvolvimento (Bardhan, 2000; Becker e Ostrom, 1995; Tang, 1991). Isto torna complexo o dilema da região estudada, cuja principal consumidora dos recursos naturais é a irrigação.

Essa atividade leva a região a apresentar o paradoxo de possuir grande potencial de solo e topografia favoráveis à expansão da agricultura irrigada em contraste com uma baixa disponibilidade hídrica, agravada pelo comprometimento da qualidade nas áreas de maior concentração urbana e de atividade agrícola mais intensiva. Além disso, há uma base tecnológica extremamente diversificada, onde convivem a atividade agrícola altamente tecnificada e empresarial com a agricultura familiar de subsistência.

A simulação, ao mostrar a dinâmica de longo prazo, pode vir a tornar claro que mesmo as pessoas e agentes econômicos interagindo repetidamente não conseguem agir coletivamente em empreendimentos que exigem maior comprometimento dos indivíduos, e as estratégias individuais podem chegar a um resultado final muito diferente do inicialmente previsto pelas partes envolvidas. O modelo de análise sistêmica objetiva justamente prever esses resultados que provêm de estratégias individuais e que geralmente prejudicam o todo da sociedade e com esse instrumental poder chegar a conclusões que levem a soluções de cooperação.

## **5. Resultados**

### **5.1 O modelo básico de simulação**

Para construir e simular o modelo dinâmico da bacia, bem como proceder à sua calibração e análises de possibilidade de conflitos no uso de água, foi utilizado o software VENSIM (versão DSS) da Ventana Systems. Utilizando esse software um modelo de simulação pôde ser construído para se verificar a dinâmica da população ao longo dos anos e a evolução da demanda por água em contraposição à disponibilidade hídrica da bacia.

Este modelo é constituído de 4 vistas, uma para cada micro-região e uma que mostra a população total da bacia. Essas micro-regiões são sub-divisões da meso-região Norte de Minas. Para composição do modelo são utilizados dados de séries históricas para os municípios da região obtidas nos sites do IPEA e do DATASUS, são dados populacionais, de atividades econômicas e de recursos naturais. Na página seguinte está demonstrada uma vista do modelo que corresponde à micro-região de Janaúba.

**Janaúba**

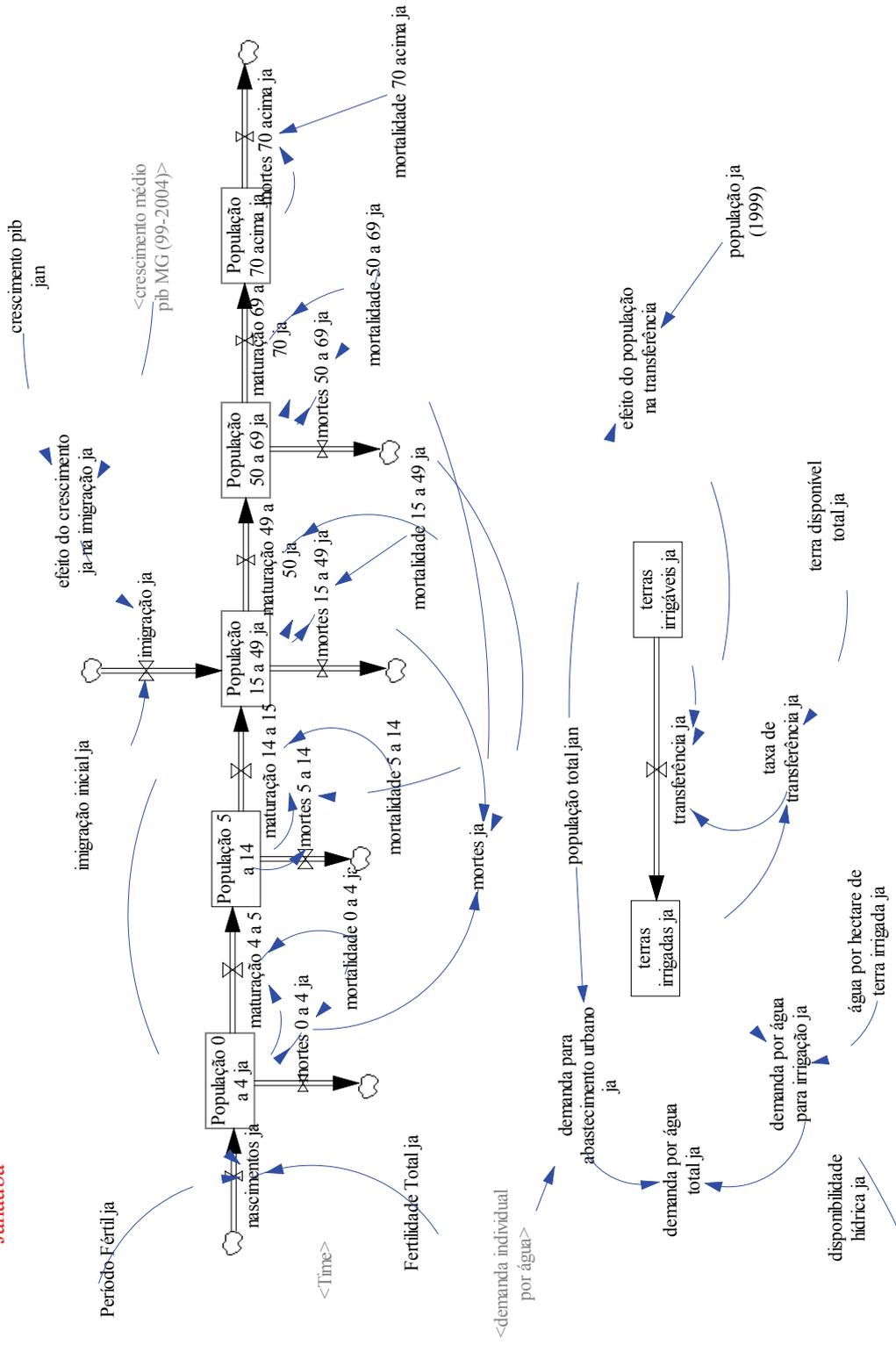


Figura 5: Modelo geral construído para a Bacia do Rio Verde Grande

A população foi dividida em cortes de faixa etária onde cada corte possui uma taxa de mortalidade. A dinâmica começa com os nascimentos que são dados pela fertilidade total, que é o número de filhos que as mulheres têm em média, vezes a população de 15 a 49 anos multiplicada por 0.5, que indica as mulheres em período fértil, tudo isso dividido pelo período fértil que são 35 anos da vida da mulher. Os que nascem são transferidos para o primeiro corte de 0 a 14 anos, se juntando aos que lá já estão, pois cada corte já possui um valor inicial. Neste corte são submetidos à taxa de mortalidade dessa faixa etária e os que passam de 14 para 15 anos, ou seja passam pelo período de maturação, são transferidos para o segundo corte. O período de maturação é um cálculo feito para se obter quantas pessoas passam de uma determinada idade crítica para o próximo corte, neste caso de 14 para 15 anos, é a população total multiplicada por 1 subtraído da taxa de mortalidade, ou seja, os que sobrevivem, dividido por 15, que é o número de faixas etárias nesse corte.

Esse mesmo processo ocorre em todos os cortes populacionais até os idosos de 70 anos e acima. A população total é obtida pelas populações de cada corte em cada período de tempo, e as mortes de cada corte contribuem para as mortes do total da população. Assim, por exemplo em cada período de um ano, tem-se a dinâmica populacional, com nascimentos e mortes totais obtidos através da especificação de cortes populacionais, e também o comportamento desses cortes. Foi incluída como variável de influência na dinâmica populacional a migração de pessoas para a região analisada em função do crescimento econômico obtido por ela. Foi obtido um índice de efeito do crescimento do PIB (produto interno bruto) na imigração através de uma variável lookup que compara o crescimento percentual do PIB da região com o crescimento percentual do PIB de Minas Gerais e então foi considerado que se o PIB da região cresce mais percentualmente que o PIB de Minas Gerais há migração de outras localidades mineiras para essa região.

A variável ‘imigração’ é então influenciada pelo efeito do crescimento do PIB na migração e pela variável imigração base que é número de pessoas que a região recebe em média de outras localidades. Através do site do IPEADATA foi obtido o dado de que a taxa imigração naquela região tem sido de 3% do total da população local, logo a variável ‘imigração base’ é 3% da população de todos os municípios da região. Assim a ‘imigração’ é resultado do efeito econômico atuando sobre a imigração que já ocorre normalmente. Admitiu-se que essa população de imigrantes é em geral composta por pessoas relativamente jovens em busca de nova vida e de emprego, logo esse valor entra no corte de população de 15 a 49 anos, e a partir daí vão influir a população total. Essa população total é considerada uma variável de influência no consumo dos recursos naturais, que neste modelo são considerados a terra disponível para irrigação e a água.

O segundo ciclo do modelo demonstra a dinâmica da utilização dos recursos naturais como a disponibilidade de terras utilizada na atividade agrícola irrigada. Através de dados do IPEADATA sobre a quantidade hectares de terras disponíveis para utilização de irrigação foram construídas duas variáveis de nível (variáveis de estoque, que acumulam valores) onde as terras disponíveis, que constituem uma das variáveis, são transferidas para outra variável de nível, ‘terras irrigadas’, onde as terras já estão utilizadas pela atividade de irrigação. Essa transferência é influenciada por duas variáveis: ‘taxa de transferência’ e ‘efeito da população na transferência’.

A evolução da população tem efeito direto sobre a transferência de terras irrigáveis, ou seja, terras com potencial para a irrigação, para terras irrigadas, o que se dá através do efeito causado pela variável *lookup*. Essa variável compara um valor de população base da micro-região de Janaúba, neste caso foi considerada a população de 1999, com a população dada pelo modelo em cada ano. Assim, quanto maior a população em relação à base mais terras são utilizadas, sendo assim maior a transferência de terras disponíveis para terras utilizadas para irrigação.

Com os dados do total de terras irrigáveis do local e de terras já irrigadas foi obtido um índice de transferência em que as terras ainda não utilizadas têm seu valor dividido pelo valor de terras já usadas para irrigação, é então subtraído de 1 o valor resultante, obtendo-se daí uma taxa que será multiplicada pelo total de terras ainda irrigáveis para se chegar a um valor preliminar de terras que será transferido. Como este é um modelo populacional tem ainda o efeito da população nesta transferência,

já explicado anteriormente, logo àquele valor será multiplicado o efeito populacional, constituindo essa equação a variável ‘transferência’.

Estudos da área de agrárias têm mostrado que hoje, em média, no Brasil são gastos 0,5/l/ha de água. Assim para se obter a demanda por água que parte da irrigação foi criada uma variável chamada ‘demanda por água para irrigação’ onde o total de hectares de terras irrigadas é multiplicado pelo dado de m<sup>3</sup> de água por ano utilizado para irrigação. Essa variável é constituinte importante da demanda total hídrica que tem como componente ainda a ‘demanda para abastecimento urbano total’ obtido graças a dados do IGAM, que diz que a demanda de um indivíduo por água é em média de 190 litros por dia, logo a demanda para abastecimento da população foi obtida multiplicando a demanda individual pelo total da população, fazendo as devidas conversões de unidade litro para m<sup>3</sup>. A demanda por água da micro-região de Janaúba não é nada mais do que a soma das demandas para irrigação e para abastecimento urbano, o que constitui um dado muito importante para autoridades, principalmente porque sendo o modelo dinâmico é possível observar a evolução dessa demanda por um recurso cada vez mais escasso. Um dado também importante demonstrado pelo modelo é o saldo hídrico que é uma comparação entre a disponibilidade hídrica média da bacia do Rio Verde Grande (dado retirado do Caderno da Região Hidrográfica do Rio São Francisco - Ministério do Meio Ambiente), com a respectiva demanda hídrica proveniente da dinâmica do modelo.

## 5. 2 Simulações

O modelo populacional, simulado para o período de 1999, data em que se inicia a série de dados, até o ano de 2020, evidencia que a base de recursos será pressionada pelo aumento da população da região, o que demandará investimentos em infra-estrutura urbana e saneamento básico, além de uma política de gerenciamento dos recursos hídricos eficiente. O gráfico abaixo mostra a evolução da população para a micro-região de Janaúba.

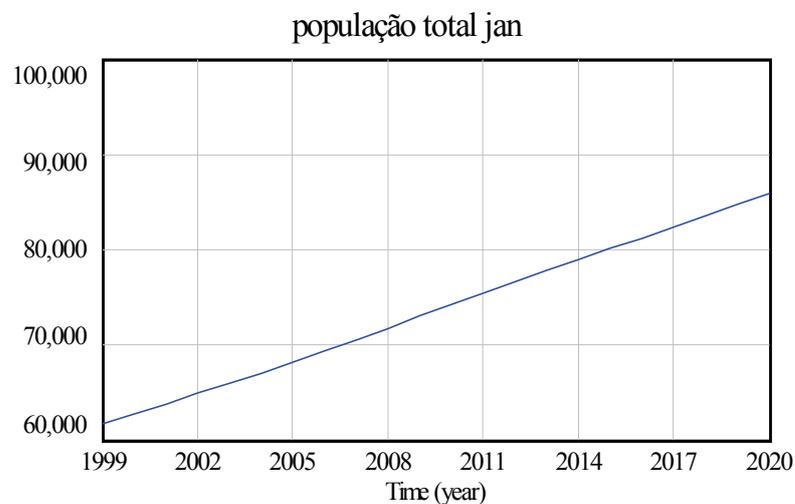


Gráfico 1: Evolução temporal da população na micro-região de Janaúba.

Como a população de todas as micro-regiões está crescendo, mesmo que a ritmo decrescente como é o caso de Montes Claros, a população total da bacia também está aumentando:

## População Total

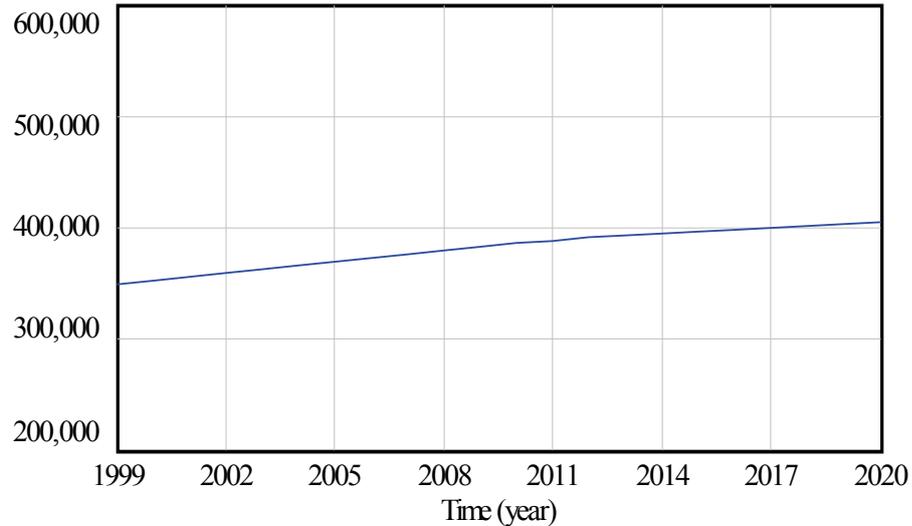


Gráfico 2: Evolução temporal da população total da bacia

O aumento populacional causa um efeito direto na transferência de terras para a irrigação, isto é evidente pois quanto mais pessoas maior a necessidade de trabalho, de produção de alimentos, etc. Assim, as terras ainda disponíveis, segundo dados do IpeaData, vão sendo transferidas gradativamente para a produção irrigada. Esse processo geralmente vem acompanhado de uma concentração das terras na medida que os pequenos produtores não têm condições de competir com os grandes irrigantes e acabam por vender suas terras para aqueles e trocar o campo pela cidade. Esse êxodo rural incha as cidades que recebem esses migrantes sem uma estrutura adequada.

Os gráficos abaixo mostram como evolui a ocupação da terra (em hectares) para utilização na principal atividade econômica da Bacia do Rio Verde Grande, a agricultura irrigada, na micro-região de Janaúba:

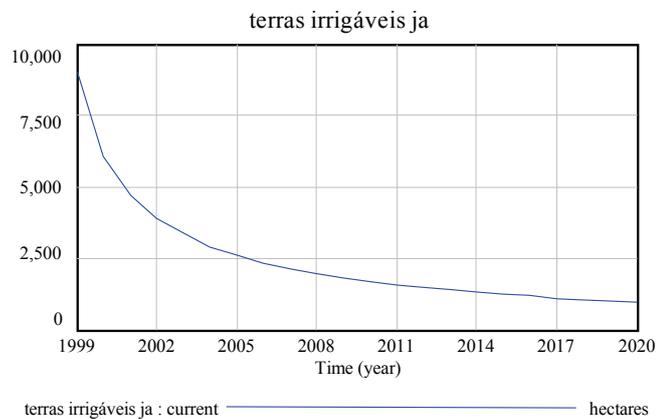


Gráfico 3: Evolução das terras disponíveis para a agricultura irrigada.

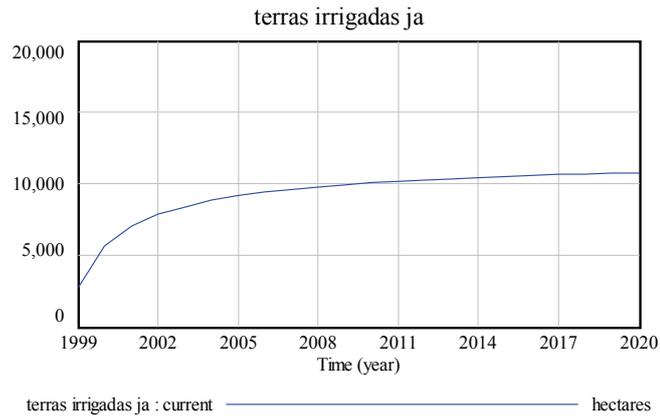


Gráfico 4: Evolução das terras utilizadas para agricultura irrigada.

É possível observar que a terra ainda disponível diminui continuamente, enquanto a terra irrigada aumenta, mesmo que em ritmo decrescente. Além disso pode-se perceber pelas unidades do gráfico que as terras disponíveis já estão em menor quantidade que as utilizadas desde 1999. Isto significa que a demanda por água aumentará, pois seu principal componente é a irrigação.

Dessa forma, o crescimento da população, ao afetar positivamente o efeito de transferência de terras disponíveis para terras irrigadas, pode levar, com o tempo, a um esgotamento desse recurso ou a uma ocupação desordenada da terra que tem como consequência sua má utilização, e também de outros recursos naturais. E esse tipo de ocorrência pode acirrar os conflitos pelo uso da água em algumas regiões da bacia e se tornar mais frequentes no futuro como mostram as simulações. Os gráficos a seguir ilustram a evolução da utilização da terra em contraposição a disponibilidade desse recurso na região, para Montes Claros e Bocaiúva:

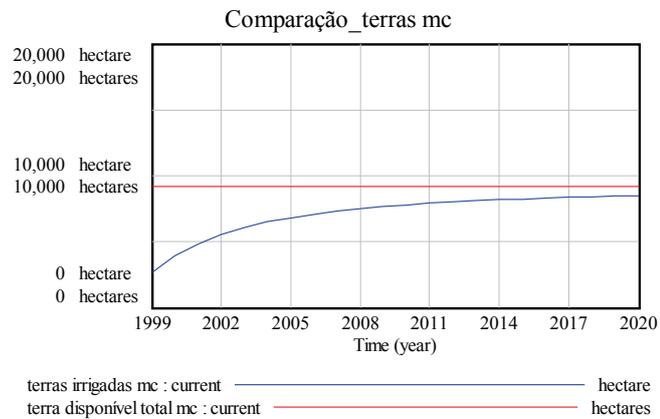


Gráfico 5: Terras utilizadas para irrigação e disponibilidade total de terras na micro-região de Montes Claros.

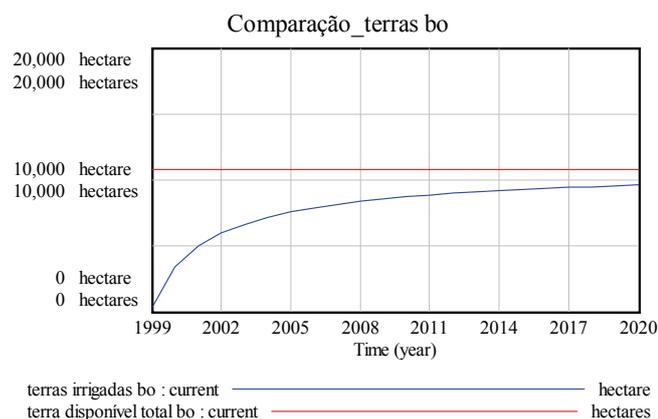


Gráfico 6: Terras utilizadas para irrigação e disponibilidade total de terras na micro-região de Bocaiúva.

Segundo dados do IpeaData sobre as terras disponíveis para agricultura na região, pelo gráfico acima pode-se perceber mais claramente que o crescimento da agricultura irrigada poderá levar à escassez do fator produtivo terra, além de grande pressão sobre a base de recursos hídricos.

Isto é um agravante da situação já que a bacia do Rio Verde Grande está sujeita a uma forte restrição hídrica, que obviamente está no centro desses conflitos, e, segundo a simulação tende a se tornar mais preocupante pois, considerando a disponibilidade hídrica constante, se nenhuma política de gerenciamento eficiente do uso da água for aplicada no período simulado, o déficit hídrico já existente na região se agravará pois a demanda hídrica cresce através de seus componentes urbano e agrícola, estimulados pelo aumento populacional.

Estudos do Ministério do Meio Ambiente publicados no Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco em 2006 mostram que a disponibilidade hídrica da Bacia do Rio Verde Grande é uma das menores dentre as sub-bacias do São Francisco, situando-se por volta de 1,56 m<sup>3</sup>/s. Como esta bacia já se encontra numa situação em que a demanda por recursos hídricos supera a oferta, a simulação do modelo apenas mostrou o agravamento do déficit hídrico, na ausência de políticas mitigadoras do problema, como demonstram os gráficos a seguir, para as micro-regiões de Janaúba, Montes Claros e Bocaiúva, respectivamente:

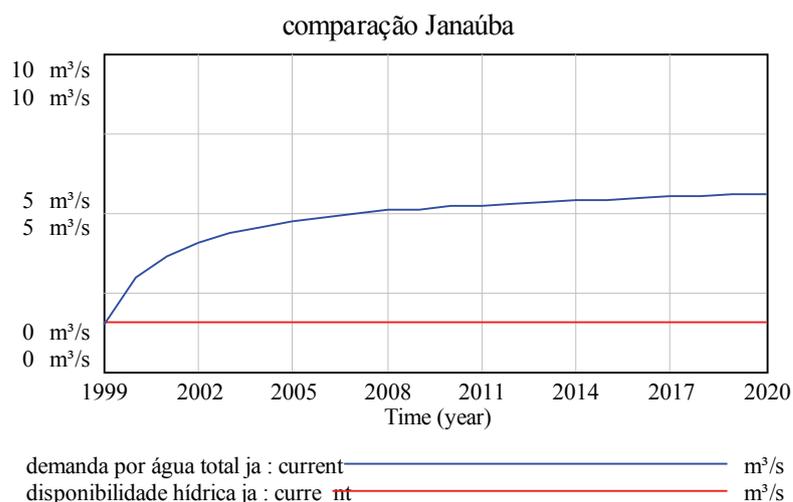


Gráfico 7: Evolução temporal da demanda hídrica da micro-região de Janaúba, dada a disponibilidade hídrica da bacia.

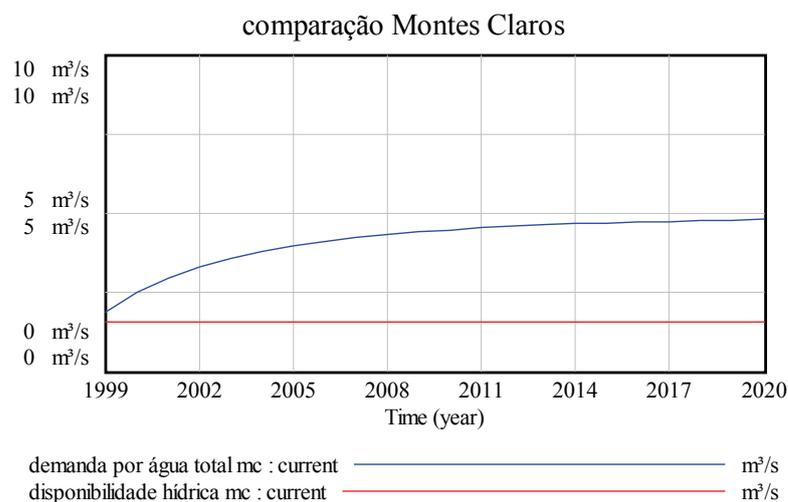


Gráfico 8: Evolução temporal da demanda hídrica da micro-região de Montes Claros, dada a disponibilidade hídrica da bacia.

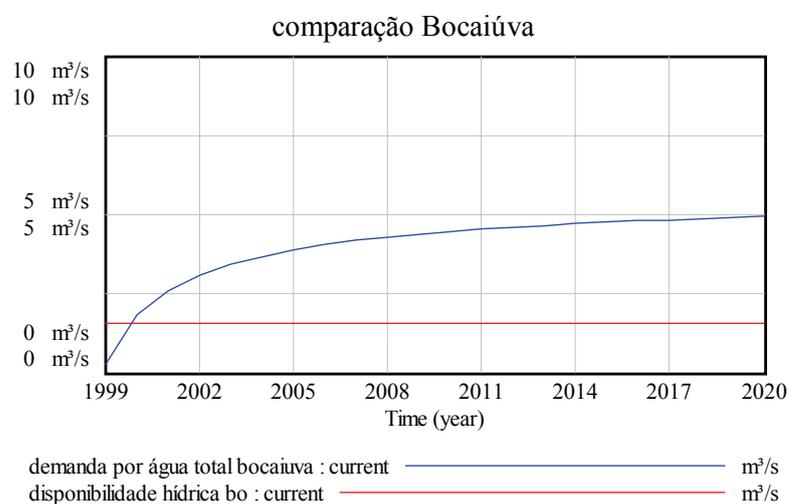


Gráfico 9: Evolução temporal da demanda hídrica da micro-região de Bocaiúva, dada a disponibilidade hídrica da bacia.

O déficit já existente é compensado pela importação de água das outras sub-bacias do São Francisco. O aumento deste déficit na próxima década faz urgente a tomada de medidas corretivas e preventivas para o uso da água pela população e principalmente pelos irrigantes. Estes merecem maior atenção, pois, pode-se observar que o déficit hídrico da micro-região de Janaúba apresenta-se como o maior, isso porque nesta micro-região a agricultura irrigada é mais forte, sendo o carro-chefe da economia local, principalmente a fruticultura irrigada. O gráfico abaixo mostra a importância da demanda hídrica da agricultura irrigada na composição da demanda hídrica total, para a região de Janaúba:

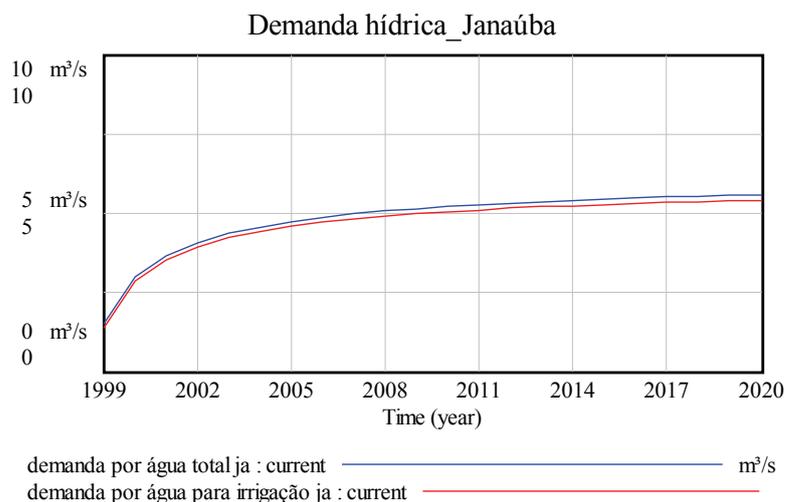


Gráfico 10: Demanda hídrica total e demanda hídrica para agricultura irrigada na micro-região de Janaúba.

## 6. Conclusão

O fato de os indivíduos terem dificuldade de cooperarem entre si, sendo essa cooperação uma condição freqüentemente necessária para a superação de situações de extrema pobreza, pode ser reflexo da insuficiência de capital social acumulado pela comunidade. Mas essa resistência a cooperar pode ser ainda mais acentuada em períodos de secas em que, para um dado grau de heterogeneidade social, as disparidades econômicas entre seus habitantes se tornam mais patentes. Neste quadro insere-se a região da bacia hidrográfica do Rio Verde Grande, que além de possuir uma disponibilidade hídrica extremamente restrita, possui um histórico de conflitos pelo uso da água que pode se agravar conforme a simulação feita.

Com o modelo dinâmico geral buscou-se mostrar como a dinâmica social na região da bacia depende da dinâmica ambiental – o potencial de conflitos, por exemplo, depende do grau de degradação da bacia, como uso da terra e da água – e como esta última é determinada, em última instância, pela ação de indivíduos buscando atender seus interesses econômicos. É importante observar que a ação individual racional pode gerar resultados coletivos desastrosos em termos de utilização de recursos comuns como a água.

Esta bacia, por se localizar na região semi-árida brasileira está submetida a um regime pluvial irregular, com ocorrências de estiagens prolongadas e, conseqüentemente, elevada variabilidade anual das disponibilidades hídricas. Esta variabilidade torna a região de alto risco sob o aspecto de confiabilidade da precipitação para a prática da agricultura, o que gera uma grande necessidade de utilização da irrigação. Como mostrado no texto, a agricultura irrigada é muito importante para a região, sendo fonte de trabalho e renda, mas também é a maior demandante dos recursos hídricos. Por isso são necessárias medidas urgentes para adequar a irrigação local à baixa disponibilidade hídrica, com sistemas que permitam um desenvolvimento sustentável da atividade econômica. Além disso, medidas de assistência às populações menos favorecidas, principalmente na região de Janaúba e Bocaiúva, são imprescindíveis para a redução dos indicadores de intensidade da pobreza na região.

Diante de tal quadro, somente a partir de um sistema eficiente de gestão integrada que busque a convergência de interesses dentre os principais usuários da água na bacia e introduzindo regras bem definidas de utilização da água, será encontrado o caminho para o gerenciamento dos conflitos na região. Estes podem se agravar com as estiagens e o crescimento da população e da atividade econômica.

## 7. Bibliografia

- AXELROD, R.(1997) *The complexity of cooperation – agent based models of competition and collaboration*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- BARDHAN, P. (2000) Irrigation and cooperation: an empirical analysis of 48 irrigation communities in South India. *Economic Development and Cultural Change*, vol. 48 (4), July.
- BECKER, C. D. e E. OSTROM (1995) Human Ecology and resource sustainability: the importance of institutional diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics.*, vol. 26..
- BERKES, F; FOLKE,C. (2000) *Linking social and ecological sytems- management practices and social mechanisms for building resilience*. New York: Cambridge University Press.
- BUENO, N.P. (2004) A hipótese de evolução tecnológica por equilíbrios pontuados – algumas implicações para áreas periféricas. Rio de Janeiro: *Revista de Economia Contemporânea*, vol 8 (1), jan/jun.
- DIAMOND, J. (2005) *Collapse – how societies choose to fail or succeed*. New York: Penguin.
- FORRESTER, J. (1969) *Urban Dynamics*. Waltham, MA: Pegasus Communications.
- HARDIN, G. (1968) The tragedy of the commons. *Science*, 162.
- KIM, D (2000) *Systems thinking tools – a user’s reference guide*. Waltham, MA: Pegasus Communications.
- NEWSON, M. (1997) *Land, water and development – sustainable management of river basin systems*. London and New York: Routledge.
- OSTROM, E. (2000). Collective action and the evolution of social norms. *Journal of Economic Perspectives*, vol. 14 (3), Summer.
- PUTNAM, R.(1993) *Making democracy work – civic traditions in modern Italy*. Princeton: Princeton University Press.
- TANG, S. Y.(1991) Institutional arrangements and the management of common-pool resources. *Public Administration Review*, vol. 51 (1).
- Plano de gestão da Bacia do Rio Verde Grande – 2001  
Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco – 2006 (Ministério do Meio Ambiente)

Sites consultados:

[www.ipeadata.gov.br](http://www.ipeadata.gov.br)

[www.igam.gov.br](http://www.igam.gov.br)

[www.datasus.gov.br](http://www.datasus.gov.br)