



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GPL 18
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO VII

GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GPL

PLANEJAMENTO INTEGRADO DOS RECURSOS HÍDRICOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA CONSIDERANDO MÚLTIPLOS CRITÉRIOS E A DINÂMICA DO CAPITAL NATURAL

Everthon Taghori Sica *

Celso de Brasil Camargo

**Laboratório de Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica – LabPlan
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC**

RESUMO

As questões sobre o uso das águas necessitam de um pensamento que ligue o que está fragmentado e compartimentado, além de reconhecer que os problemas de gestão e de planejamento, tanto do setor de energia elétrica quanto do setor de recursos hídricos, são interdependentes no tempo e no espaço com os sistemas socioeconômico, político, e ambiental.

Este artigo apresenta uma proposta de abordagem ao planejamento integrado de recursos hídricos para geração de energia elétrica, considerando os conceitos de desenvolvimento sustentável. A proposta é baseada nas metodologias multicritério de suporte à decisão e Dinâmica de Sistemas, ambas para problemas não estruturados.

PALAVRAS-CHAVE

Geração de Energia Elétrica, Multicritério, Planejamento Integrado de Recursos, Uso Múltiplo das Águas

1.0 INTRODUÇÃO

Em 8 de janeiro de 1997, pela Lei nº 9.433, inspirada no modelo francês, foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos e criado o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. O escopo desse Sistema Nacional de Gerenciamento é organizar a área de recursos hídricos e consolidar os conceitos de gestão integrada e de visão sistêmica da água. Para o setor de energia elétrica, essa nova forma de gestão das águas implica em mudanças significativas. A consideração dos demais usuários das águas na gestão dos recursos hídricos, coloca em xeque a histórica hegemonia do setor. Embora exista um arcabouço regulatório mínimo, que prevê a articulação dos diversos organismos atuantes, para garantir o uso múltiplo das águas, é preciso amadurecer as competências de cada um e intensificar a troca de informação, bem como promover a participação popular assegurada por lei.

A bacia hidrográfica deve ser adotada como unidade de gestão e de planejamento. O processo de planejamento deve ser interativo, permitindo aos decisores (atuantes no Comitê de Bacia Hidrográfica) explicitarem os critérios a serem considerados e os riscos a serem assumidos, além de ser integrado com os processos econômicos, sociais e políticos. O modelo de planejamento integrado deve ser capaz de propiciar cenários de longo prazo,

(*) LABORATÓRIO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA
Universidade Federal de Santa Catarina – CTC – EEL – LabPlan, Campus Trindade
CEP 88.040-900 / Florianópolis, SC/Brasil - Tel: (48) 3721-9731 / Fax: (48) 3721-7538 / acmesica@labplan.ufsc.br

incorporando as perspectivas de desenvolvimento sustentável, de usos múltiplos e dos processos socioeconômicos, além das diretrizes jurídicas e institucionais que condicionam o uso dos recursos hídricos.

O grande desafio do planejamento é estabelecer uma relação de poder compartilhada e descentralizada, de forma a possibilitar a participação social e promover a unidade na diversidade. Planejar é reunir as condições para construir um futuro desejado e estabelecer os meios para atingí-lo. O planejamento integrado será efetivo quando deixar de ser meramente residual, ou seja, quando emergir sua real importância transversal aos demais segmentos econômicos e deixar de administrar o que sobra das águas, depois que os principais agentes econômicos tomaram suas decisões e fizeram seus planos. Uma das principais consequências do planejamento isolado dos outros setores econômicos é o aumento dos conflitos de uso que se somarão aos já existentes.

A demanda por água é cada vez maior e, sem planejamento, a disponibilidade per capita de água tende a se reduzir drasticamente, em virtude da manutenção da oferta e aumento da demanda dos diversos usuários. O planejamento integrado não será uma opção do planejador e sim uma necessidade face ao crescimento e desenvolvimento econômico.

2.0 O PLANEJAMENTO INTEGRADO E O MERCADO DAS ÁGUAS

O desenvolvimento da economia moderna apóia-se simultaneamente nos mecanismos de mercado e nas administrações públicas. Destarte, a tomada de decisão é acentuada pela predileção de uma ou de outra. Porém, tanto nos mecanismos de mercado quanto nas administrações públicas existem certos fundamentos e pontos de referência que devem ser analisados. O Banco Mundial considera que o papel do Estado deve ser de apenas estabelecer as regras do jogo e promover os mecanismos de mercado, não mais a gestão e o planejamento. Tanto que o Conselho Mundial da Água no Fórum de 2000, em Haia, promoveu um documento fundamentado no mercantilismo, no livre comércio e no planejamento pelas leis de mercado à satisfação do consumidor (1). Desta forma, os recursos hídricos estariam submetidos ao *welfare-state* baseado no Consenso de Washington¹. Por outro lado, o comércio informal de água sempre existiu entre agricultores e comunidades (pequenas). Contudo, os princípios que regem esse comércio são baseados na herança comum da água – água compartilhada.

A regulamentação dos recursos naturais pelos mecanismos de mercado não deve ser de outra forma senão parcial. Neste sentido, Godard (2) expõe duas importantes limitações. A primeira limitação se refere a eficiência dos modos de gestão que são adotados, haja vista que os agentes econômicos não ponderam na tomada de decisão grande parte dos efeitos sinérgicos do capital natural, pois os mesmos não são objetos nos contratos de troca. A segunda limitação se refere a incapacidade do mercado em gerar uma informação que os agentes econômicos já não possuam. Não obstante, os principais argumentos delineados pelos apologistas do mercantilismo da água são:

- o enorme desperdício no uso e no gerenciamento da água se dá em razão do preço relativamente baixo; portanto a água deve ser tratada como bem econômico;
- o gerenciamento da água, sob a era da escassez, exige preços reais que devem ser estabelecidos pela dinâmica de oferta e procura, regida pelas leis do livre mercado.

O encadeamento desses argumentos é sugerido como dogmas de fé na conversão da água em *commodity*, sendo a melhor garantia contra os conflitos - “a água como bem econômico será um fator de paz” (1). Diante desses argumentos, o setor privado se pôs a agir e desta ação surgiu uma nova indústria: a indústria da água, como mais um nicho de mercado. No entanto, deve-se advertir sobre o fascínio que o livre mercado exerce como meio eficiente para alocação dos recursos. Segundo Lanna (3) “muitas vezes se observa a falência do mercado para atingir a eficiência social e ambiental e, a longo prazo, até mesmo a eficiência econômica demonstrada pela teoria econômica neoclássica”.

Qualquer alternativa de gestão e de planejamento que seja analisada com respeito ao desenvolvimento sustentável é confrontada com a incerteza, a irreversibilidade e a complexidade. O sistema econômico tem *inputs* de energia e de matéria-prima do meio ambiente, porém afeta o meio ambiente ao gerar resíduos, mudando o comportamento do sistema, ver FIGURA 1. Neste sentido, Daly (4) afirma que

não se deve permitir que os preços de mercado decidam as taxas de fluxo de matéria e energia – através da fronteira que separa a economia do ecossistema – nem a distribuição dos recursos entre pessoas diferentes (gerações diferentes). A primeira é uma decisão ecológica, a segunda uma decisão ética. É natural que as decisões influirão e devem influir nos preços de mercado, mas o importante é que estas decisões ecológicas e éticas determinem os preços, não sejam determinadas por eles.

A dificuldade de implementar mudanças na economia de mercado, como a internalização dos custos ambientais e sociais, agrava-se em virtude das diferenças de poder e acesso ao capital entre os diversos grupos afetados. Por outro lado, o planejamento integrado e a regulamentação têm sido usados para atenuar essas dificuldades e

¹ O “Consenso de Washington” preza por um modelo econômico calcado na convicção que as economias de mercado liberais constituem a única opção, ou seja, deixe o mercado determinar o futuro – a água é uma necessidade humana e não um direito humano.

aumentar os incentivos para o uso mais eficiente das águas e da energia, seguindo o princípio do desenvolvimento sustentável.

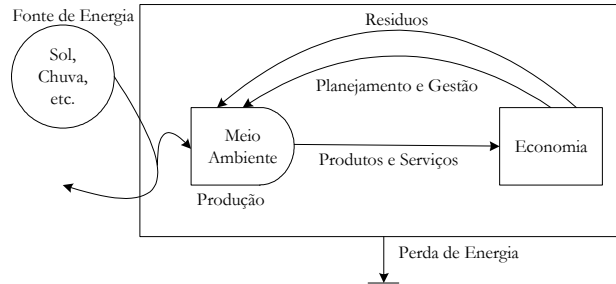


FIGURA 1 - Modelo simplificado de fluxo de energia/matéria-prima entre economia e meio ambiente (5).

2.1 A mutualidade entre os setores de recursos hídricos e de energia elétrica

As recentes modificações na legislação e gestão dos recursos hídricos reforçaram a necessidade de reavaliação das metodologias e dos modelos utilizados à tomada de decisão. A aceleração e o desenvolvimento da economia ampliam os usos múltiplos e as mudanças culturais fazem com que outras necessidades sejam incorporadas, resultando em impactos variados de amplitude incerta.

Diante disso, o compartilhamento das águas por diversos agentes econômicos exige a implementação de regras operacionais complexas que aumentam substancialmente em decorrência de pressões motivadas (6):

- pelo desenvolvimento econômico - aumento da demanda de água para uso intermediário e final;
- pelo crescimento da população - aumento do consumo final, de forma direta, e crescimento da demanda para uso intermediário, de forma indireta, em virtude das atividades econômicas;
- pela expansão da agricultura - aumento das culturas dependentes de irrigação;
- pelas modificações tecnológicas e sociais - alteração nos modos de produção e de consumo;
- pela urbanização - alteração na organização espacial concentrando a demanda por água, impermeabilizando o solo e conseqüentemente agravando os efeitos de enchentes;
- pelas demandas ambientais - aumento da degradação impulsiona de forma categórica os movimentos sociais e as exigências legais, a fim de preservar os recursos hídricos.

2.2 O Modelo de Gestão das Águas

O modelo administrativo brasileiro de gerenciamento dos recursos hídricos por Comitês de Bacia e Agências de Água é inovador, e sua implantação implica mudança de atitude e comportamento dos atores sociais envolvidos que precisam dialogar e serem receptivos à parceria com os demais usuários e comunidades. Duas condições, dentre outras, são necessárias para a gestão e o planejamento das águas por meio dos Comitês de Bacia: a legitimidade externa e a autoridade interna. A primeira condição, diz respeito ao reconhecimento do direito dos decisores, que deve ser estabelecido e respeitado. A segunda, que o comitê deve ser organizado de forma a fazer respeitar e a desenvolver as regras de utilização dos recursos hídricos.

A oferta de energia elétrica na economia nacional é uma função que depende substancialmente da disponibilidade hídrica para tal fim. Entretanto, a totalidade da vazão natural afluente não está disponível somente para a produção de energia elétrica como em tempos de outrora. O modelo de planejamento integrado a ser seguido deve permitir o julgamento de valor, ser participativo e multicritério, além de projetar cenários coerentes com a composição orgânica tanto do capital econômico quanto do natural.

2.2.1 Os usos múltiplos e prioritários das águas

A partir da Lei nº 9.433/97, a definição sobre a prioridade de uso dos recursos hídricos é disposta no Plano de Bacia² e está a cargo dos Comitês de Bacia Hidrográfica, sendo auxiliados tecnicamente pelas respectivas Agências de Água.

A concorrência pelo uso da água (*trade-off*) é evidente entre os usos consuntivos, tais como irrigação, abastecimento industrial e produção de energia - esses usos são variáveis significativas do desenvolvimento e do crescimento econômico para o Brasil. A questão do *trade-off* água-energia e dos usos múltiplos das águas não são triviais. O planejamento e a operação do Sistema Interligado Nacional e o gerenciamento da bacia hidrográfica devem ser integrados, pois ao privilegiar um segmento ou outro (irrigação ou produção de energia, por exemplo) poderá acarretar conseqüências danosas à economia e/ou ao meio ambiente.

Os objetivos do Sistema Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97, art. 32^a) deveriam ser atribuídos a um conjunto orgânico de elementos interdependentes (Lei nº 9.433/97, art. 33^a). Entretanto, isso não ocorre em razão

² Os Planos de Bacia são de longo prazo e visam a implementação do Plano Nacional de Recursos Hídricos - confeccionados pelo Comitê de Bacia e deverá dispor as prioridades de uso entre cada segmento usuário. Ou seja, em situação de não escassez e salvo disposições do Plano de Bacia, o setor de energia elétrica é tão importante quanto os demais segmentos.

do grau de imprecisão dos objetivos “a serem alcançados por pessoas jurídicas distintas que se encontram freqüentemente em competição política aberta para cumprir os objetivos listados” (7).

3.0 A PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O PLANEJAMENTO INTEGRADO

Uma das principais razões para modelar as interações entre os sistemas econômicos e ambientais é a percepção de quão grande se tornaram os impactos ambientais provocados pelas atividades produtivas (8). Antonio Eduardo Lanna (6) afirma que o planejamento deve “orientar e adequar as intervenções humanas no setor de recursos hídricos”. Ademais, deve agir como instrumento de coordenação e articulação entre as atividades complementares e conflitantes, a fim de torná-las eficientes. A coordenação é alcançada por meio da legislação pertinente e das condições técnicas de contorno da operação dos recursos hídricos. A articulação, por sua vez, é efetivada através das prioridades sociais e ambientais almejadas pelos agentes afetados. Neste sentido, diante da coordenação e da articulação adequadas, o planejamento poderá promover:

1. A alocação dos recursos hídricos para os usos prioritários.

De acordo com a legislação vigente, isso fica a cargo dos Comitês de Bacia Hidrográfica. Os Comitês devem definir a política de intercâmbio (*trade-off*) entre os agentes econômicos usuários em caso de não escassez por meio dos Planos de Bacia e demais instrumentos previstos pela Lei nº 9.433/97.

2. O estabelecimento de um padrão de critérios para hierarquização, mesmo que relativa, e avaliação de cenários alternativos, considerando os usos múltiplos e as prioridades estabelecidas nos planos de bacia. Apesar da grande incerteza inerente as projeções, em razão de variáveis como a disponibilidade hídrica e, principalmente as econômicas, sociais e políticas, a elaboração de cenários por meio da Dinâmica de Sistemas é uma metodologia possivelmente adequada.

3. O equacionamento de possíveis conflitos.

A Divisão de Recursos Naturais e Energia da Comissão Econômica para América Latina e Caribe (9) publicou um guia de procedimentos no qual reconhece que o equilíbrio do meio ambiente depende dos acordos entre os atores sociais. Portanto, a tomada de decisão não será por outro meio senão por negociações sucessivas. Além disso, propõe uma metodologia multicritério para o apoio à decisão, no âmbito dos recursos naturais energéticos, envolvendo:

- identificação dos atores sociais afetados;
- determinação de critérios que sustentam a posição dos atores sociais;
- geração de alternativas de solução e hierarquização das mesmas;
- definição de estratégias e programas de ação.

3.1 O sistema multicritério de apoio à decisão

Porto e Azevedo afirmam que os sistemas de apoio à decisão devem oferecer dois elementos essenciais. O primeiro elemento é o conjunto de informações que permite conhecer uma determinada situação. Já o segundo é o modelo que permite identificar as variáveis – suas correlações e interações. Ademais, permite ao decisor avaliar “as conseqüências da implementação de suas idéias com o auxílio de modelos aceitos por todos, a partir de uma base comum de informações” (10). Tomar uma decisão significa assumir uma opção com base em princípios racionais e na representação simbólica e cultural do decisor.

Entretanto, não existe uma definição de sucesso para sistemas multicritério de apoio à decisão, pois o melhor sistema “não é obrigatoriamente o que utiliza as melhores técnicas, mas aquele capaz de induzir às melhores decisões”. Não obstante, algumas características são relevantes apesar de não garantirem o sucesso:

- aprimorar o julgamento humano e não substituí-lo;
- ser flexível e adaptável às mudanças do contexto decisório;
- ter acessibilidade tanto para usuários especialistas como por usuários com pouco esclarecimento técnico;
- permitir a incorporação de julgamentos de valores;
- permitir a construção do modelo com a participação dos *stakeholders*;
- possibilitar a incorporação de variáveis de cunho social, ambiental, político e econômico.

3.1.1 A implementação

A absorção das variáveis explicativas pela técnica multicritério é feita pela aproximação das curvas de indiferença dos decisores, ver FIGURA 2. A FIGURA 2(a) apresenta como as várias alternativas viáveis se posicionam por meio dos critérios 1 e 2 dispostos nos eixos das abscissas e ordenadas, respectivamente, segundo uma escala que varia do melhor possível ao pior aceitável para os decisores. Demonstra a indiferença dos decisores frente às alternativas A_2 , A_6 e A_9 .

A alternativa que maximiza os benefícios a todos os decisores é aquela disposta na curva de indiferença que tangência a curva de restrição(12). Caso não seja possível identificar a alternativa “ótima”, pode-se restringir as regiões inaceitáveis para cada critério, conforme a FIGURA 2(b), por meio de cortes, definidos pelos decisores.

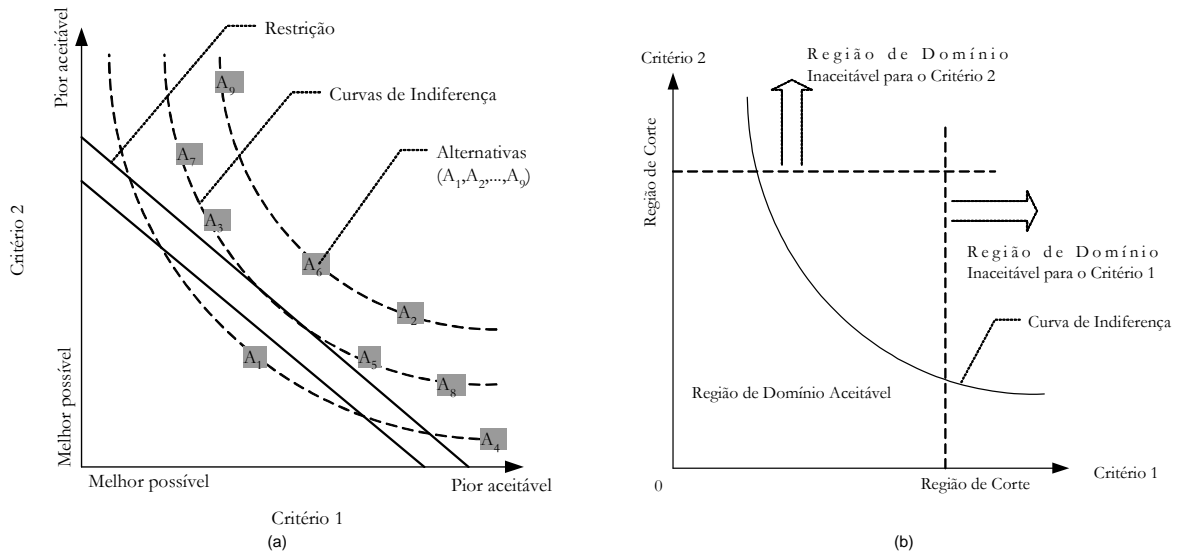


FIGURA 2 - Curvas de indiferenças e região de viabilidade dos critérios (11)

Assim cada uma das alternativas não inferiores é elegível ou ótima, segundo o conceito formulado por Pareto³. Entretanto, o problema não está resolvido, pois geralmente existe mais de uma alternativa classificada como não inferior, por exemplo: às alternativas A_3, A_5, A_7 e A_8 da FIGURA 2(a). A solução será encontrada quando o decisor declarar suas preferências para cada objetivo que compõem o vetor da alternativa. Para tanto, alternativa pode ser avaliada pelo seu valor esperado, ou seja

$$\xi \{U_i(A_{ij})\} = \int P_{ij}(A_{ij}) U_i(A_{ij}) dA_{ij} \tag{1}$$

em que

$P_{ij}(A_{ij}) \rightarrow$ função densidade probabilidade do critério i para alternativa j ;

$U_i(A_{ij}) \rightarrow$ função utilidade do critério i para cada alternativa.

A função utilidade de um critério i que compõe o vetor da alternativa pode ser determinado, por exemplo pela Equação (2).

$$U_i(A_{ij}) = a + b \cdot e^{cA_{ij}} \tag{2}$$

em que a, b e c são parâmetros de sensibilidade ajustados pelo decisor, A_{ij} o valor da função-objetivo i que compõem uma alternativa j e U_i a utilidade do critério i .

3.1.2 A estruturação do modelo

O enquadramento do processo decisório é formado pelo conjunto de ações potenciais associado aos pontos de vista fundamentais dos decisores, os quais explicitam valores que os decisores consideram importantes naquele contexto (12). O modelo multicritério possui uma estrutura arborescente, ver FIGURA 3, no qual são determinados os pontos de vista considerados como fundamentais pelos decisores. A estrutura é baseada na lógica de decomposição de um critério (g_i) complexo que pode ser decomposto em sub-critérios de mais fácil mensuração, ou seja, o critério de nível hierárquico superior é definido pelos sub-critérios de nível hierárquico inferior que estão conectados pela árvore.

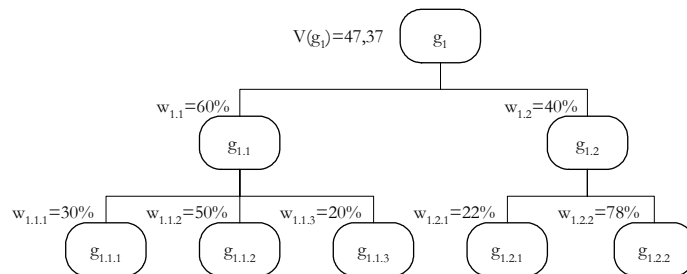


FIGURA 3 - Estrutura do modelo multicritério

³ O conceito formulado por Vilfredo Pareto (1848-1923), a saber: uma alternativa X domina uma alternativa Y se, e somente se, todos os valores das funções-objetivo que compõem o vetor da alternativa X forem preferíveis aos valores correspondentes ao vetor da alternativa Y . Desta forma, a alternativa Y é denominada inferior e deve ser descartada.

Os critérios de nível hierárquico inferior devem possuir a propriedade de serem mutuamente exclusivos e o conjunto define por completo o nível hierárquico superior, ao qual estão conectados. Na FIGURA 3, o critério $g_{1.2}$ é completamente definido e mensurável pelos sub-critérios $g_{1.2.1}$ e $g_{1.2.2}$.

3.1.3 As taxas de substituição (*trade-offs*)

As taxas de substituição de um modelo multicritério representam a perda de performance que uma ação potencial deve sofrer sobre um critério para compensar o ganho de desempenho em outro. A necessidade destas taxas é revelada na avaliação das ações potenciais, avaliações local e global. Neste caso é utilizada uma função de agregação aditiva, ver Equação (3), da seguinte forma (13):

$$V(a) = \sum_{i=1}^n w_i v_i(a) \quad (3)$$

em que:

$V(a) \rightarrow$ valor global da ação a ;

$v_1(a), v_2(a), v_3(a), \dots, v_n(a) \rightarrow$ valor parcial da ação a para os critérios $1, 2, 3, \dots, n$;

$w_1, w_2, w_3, \dots, w_n \rightarrow$ - taxas de substituição ("pesos") dos critérios $1, 2, 3, \dots, n$;

$n \rightarrow$ número de critérios do modelo;

3.2 A modelagem de sistemas complexos

A fim de conceber sistemas e modelos aplicados aos recursos hídricos e à produção de energia elétrica em uma bacia hidrográfica, é necessário compreender o contexto. Os procedimentos metodológicos utilizados na concepção de sistemas e modelos dependem fortemente dos objetos de estudo e da visão de mundo adotada. A visão de mundo condiciona a utilização e a percepção dos riscos provenientes dos eventos analisados.

O objeto de estudo delimita as particularidades e as relações entre as partes e o todo do modelo. No caso, os sistemas em produção de energia elétrica, em economia e em hidrologia são abertos⁴ e a dinâmica desenvolve-se sob um amplo espectro de configurações possíveis caracterizadas por escalas temporais e espaciais nem sempre precisas.

A Dinâmica de Sistemas mapeia estruturas tanto organizacionais quanto sociais na mesma plataforma de simulação. A Dinâmica de Sistemas baseia-se no conceito de ciclos de realimentação (*feedback loops*), ver FIGURA 4(a).

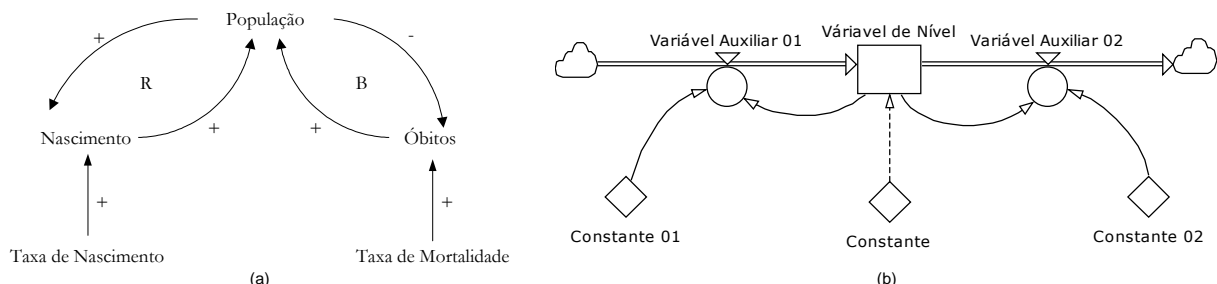


FIGURA 4 – (a) Diagrama de laço causal (feedback loops) e (b) Simbologia de diagramas de fluxo

Os ciclos contêm dois tipos fundamentais de variáveis as de nível e as de taxa. A FIGURA 4(b) apresenta a simbologia de diagramas de fluxos:

- a variável de nível ou estado do sistema é identificada por um retângulo – utilizado para representar o acúmulo de uma determinada informação no tempo e/ou entender o seu comportamento no tempo;
- a variável de taxa ou auxiliar é identificada por um círculo – utilizada para representar informações dinâmicas de controle;
- a constante ou parâmetro é identificada por um losango - são informações do sistema acessíveis durante o processo de simulação e monitorável a qualquer momento;
- a informação exterior a delimitação do modelo de simulação é identificada por uma nuvem;
- o fluxo é identificado por uma linha cheia com uma seta apontando a direção que a informação percorre, já a linha tracejada se refere ao parâmetro de inicialização – representa o registro de controle da entrada e da saída do estado.

Um exemplo da aplicação da Dinâmica de Sistemas é a simulação demográfica por meio do controle das taxas de natalidade e mortalidade, ver FIGURA 5.

⁴ Sistemas abertos são aqueles nos quais ocorrem constantes trocas de energia, matéria e informação, por exemplo: uma bacia hidrográfica (14).

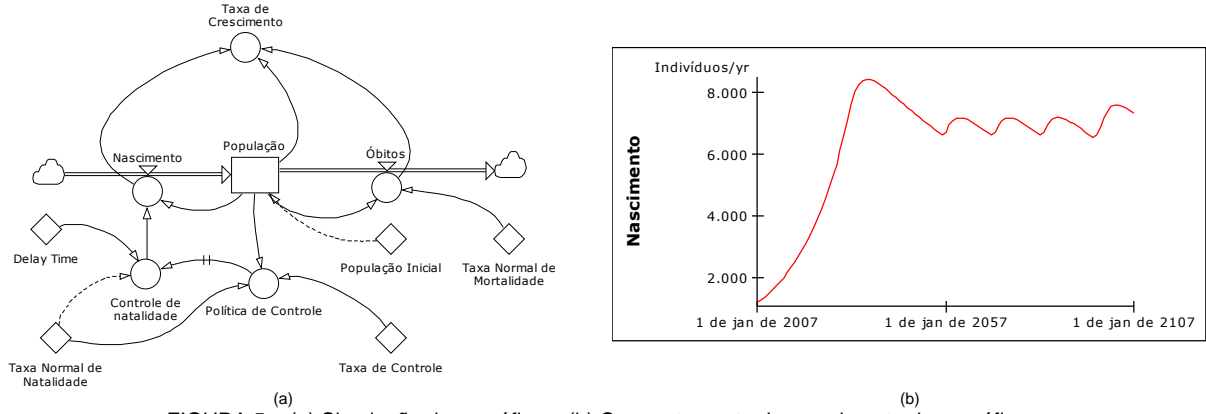


FIGURA 5 – (a) Simulação demográfica e (b) Comportamento do crescimento demográfico

3.2.1 A disponibilidade hídrica e os usos múltiplos

A disponibilidade hídrica é profundamente afetada pelo crescimento econômico e demográfico, assim como por atividades intensivas em recursos hídricos. O fluxo hídrico utilizado para atender a demanda urbana, industrial e agrícola pode até “retornar ao sistema hidrológico, mas em quantidade menor que a retirada, pois uma parcela é consumida pela evaporação e uso biológico” (14).

O planejamento da operação do setor de energia elétrica tem como um de seus instrumentos a extrapolação de séries hidrológicas. Essas séries podem ser determinadas com base na precipitação-vazão e contribuem para o equacionamento da disponibilidade de energia elétrica para o Sistema Interligado Nacional.

Para análise de aproveitamento dos recursos hídricos na bacia, o objetivo é obter uma série de vazões, $Q(t)$, maiores que a meta, q , dos aproveitamentos de um determinado período, (a, b) , com base na série natural de aflúências, ver Equação (4).

$$Q(t) \geq q \quad \forall t \in [a, b] \quad (4)$$

A bacia hidrográfica possui grande variabilidade de combinações, entre usos, retiradas de água e regularização.

Os procedimentos de planejamento e operação da bacia podem ser abordados, segundo Tucci (15), por meio de:

- técnicas de otimização – “processo extensivo quando o sistema apresenta um grande número de componentes e pequenos intervalos de tempo”;
- simulação – “que define cenários específicos e verifica os resultados”.

A simulação utiliza a seqüência histórica de vazões de acordo com a equação da continuidade, ver Equação (5).

$$S_t = S_{t-1} + \bar{Q}_t \Delta t + (P_t - E_t) k \bar{A}_t + Q_{s_t} \Delta t \quad (5)$$

em que:

$k \rightarrow$ fator de conversão $(10^3/\Delta t)$;

$S_t \rightarrow$ armazenamento $[m^3/s]$;

$\bar{Q}_t \rightarrow$ vazão média de entrada no reservatório entre os intervalos mencionados $[m^3/s]$;

$P_t \rightarrow$ precipitação no período $[mm/\Delta t]$;

$E_t \rightarrow$ evaporação potencial no período $[mm/\Delta t]$;

$\bar{A}_t \rightarrow$ área média do reservatório no período $[km^2]$;

$Q_{s_t} \rightarrow$ vazão média de saída $[m^3/s]$;

$\Delta t \rightarrow$ intervalo de tempo $[s]$.

A alocação de água para diversos segmentos usuários de uma bacia hidrográfica é um problema de decisão que pode ser equacionado por meio da Dinâmica de Sistemas. Neste caso, a função retorno, R_k , obtida em função do benefício auferido em razão da quantidade de água alocada para cada usuário, $U(i)$, da bacia é determinada por uma função valor ou utilidade. Por sua vez, a função utilidade ou valor, que representa as preferências dos integrantes do comitê de bacia, pode ser obtida por meio da metodologia multicritério.

4.0 AS CONCLUSÕES

A modelagem de bacias hidrográficas com a finalidade de obter a disponibilidade hídrica à produção de energia elétrica, considerando os usos múltiplos das águas e os demais agentes econômicos intervenientes, é um sistema parcialmente estruturado. No entanto, a Dinâmica de Sistemas oferece a possibilidade de simular as possíveis evoluções dos processos econômicos, sociais e ambientais intervenientes ao planejamento de uso da bacia hidrográfica à produção de energia elétrica. Sendo, portanto, uma ferramenta factível para o planejamento integrado de recursos.

A técnica multicritério de apoio à decisão é um método de investigação no qual são apresentados claramente os resultados da distribuição dos benefícios e/ou custos do processo decisório, do envolvimento dos atores sociais e da mensuração das conseqüências dos valores julgados. É também por meio desta técnica que se abre a possibilidade de quantificar impactos políticos, econômicos e socioambientais (12). O processo à tomada de decisão se tornou mais democrático em razão dos novos atores sociais admitidos pelo Sistema Nacional de Recursos Hídricos, porém mais complexo.

A importância das nações passou a ser medida pela capacidade de otimizar racionalmente a água disponível. A inércia política tradicional para legislar é apontada como resultado de idéia de abundância de água no território (16). Os conflitos sobre a gestão dos recursos hídricos vão além dos interesses, em seu sentido econômico, pois estão situados em sistemas de representação e de valor das águas. Equacionar a estrutura institucional e a organização do espaço de gestão dos recursos hídricos capazes de atender as exigências ecológicas, jurídicas, econômicas e culturais é uma tarefa essencial para o futuro do Estado-Nação do Brasil.

5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) PETRELLA, Ricardo – “O manifesto da água: argumentos para um contrato mundial”, Petrópolis: Vozes, 2002
- (2) GODARD, O. – “A Gestão Integrada dos Recursos Naturais e do Meio Ambiente: conceitos, instituições e desafios de legitimação”, in: VIEIRA, P. F., WEBER, J. – “Gestão dos Recursos Naturais Renováveis e Desenvolvimento: novos desafios para pesquisa ambiental”, São Paulo: Cortez, 2002
- (3) LANNA, A. Eduardo – “Hidroeconomia”, in: REBOUÇAS, A. C., BRAGA, B., TUNDISI, J. G. – “Águas Doces no Brasil”, 2ª ed., São Paulo: Escrituras, 2002
- (4) DALY, H. – “Epílogo: algunos malentendidos comunes y otros problemas relacionados con una economía en estado estacionario”, in: DALY, H. – “Economía, ecología e ética”, México: Fondo de Cultura Económica, 1989
- (5) ODUM, Howard T. – “Systems Ecology”, New York: John Wiley & Sons, 1983
- (6) LANNA, Antonio E. – “Gestão dos recursos Hídricos”, Cap. 19, in: TUCCI, Carlos E. M. (org.), “Hidrologia ciência e aplicação”, Porto alegre: UFRGS, ABRH, 2002
- (7) CAUBET, Christian G. – “A água, a lei, a política ... e o meio ambiente?”, Curitiba: Juruá, 2004
- (8) BROUWER, F. – “Integrated environmental modeling: design and tools”, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1987
- (9) DRNE, Divisão de Recursos Naturais e Energia – “Procedimientos de Gestión para un Desarrollo Sustentable”, Chile: CEPAL - Comissão Econômica para América Latina e Caribe, 1993
- (10) PORTO, Ruben L. L. – “Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos”, Porto Alegre: UFRGS, ABRH, 1997
- (11) HOBBS, Benjamin F., MEIER Peter - “Energy Decisions and the Environment: A Guide of the Use of Multicriteria Methods”, Norwell: Kluwer, 2000
- (12) SICA, Everthon T., CAMARGO, C. Celso de B. – “Integrated Resources Planning of Electric Energy Systems in a Market Environmental: a modelling multicriteria for decision making”, São Paulo: IEEE Latin America, 2004
- (13) KEENEY, R. L. – “Value-focused thinking: a path to creative decision making”, Cambridge: Harvard University, 1998
- (14) CRISTOFOLETTI, Antonio – “Modelagem de sistemas ambientais”, São Paulo: Edgard Blücher, 1999
- (15) TUCCI, Carlos E. M. – “Modelos Hidrológicos”, Porto Alegre: Ed. UFRGS, ABRH, 1998
- (16) REBOUÇAS, Aldo da Cunha - “Uso inteligente da água”, São Paulo: Escrituras, 2004