

CONTROLE DE CHEIAS POR ALGORITMOS GENÉTICOS

Luiz Sabino Neto¹, Marco Pacheco, Marley Vellasco² e Karla Figueiredo³

1 - INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a utilização de Algoritmos Genéticos (A.G.) no controle de cheias em reservatórios de usinas hidrelétricas utilizando séries sintéticas de vazões, geradas a partir de um histórico de vazões diárias de 45 anos.

A metodologia utilizada neste trabalho é baseada em condições de controlabilidade que permite, a partir da definição de restrições de vazões máximas e mínimas para vários pontos de controle de um sistema de reservatórios, a alocação mínima necessária e suficiente de volumes de espera para atender ao objetivo de controle de cheias.

2 - O PROBLEMA DO CONTROLE DE CHEIAS

Um reservatório de uma usina hidroelétrica (Figura 1) possui um volume máximo e um volume mínimo, sendo que este não pode ser inferior à tomada de água da turbina. A diferença entre o volume máximo e o volume mínimo nos dá o volume útil do reservatório. Alocar um volume de espera ou volume vazio, significa deixar um espaço no reservatório para armazenar o excesso de água proveniente das chuvas que possam causar inundações.

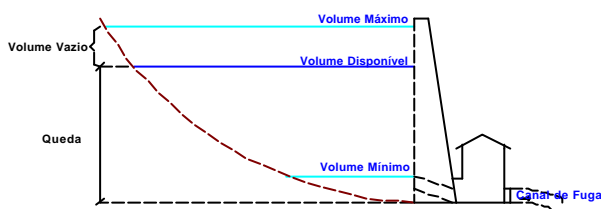


Figura 1: Reservatório de uma Usina Hidrelétrica

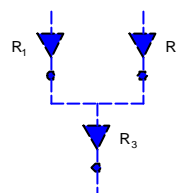


Figura 2: Sistema de Reservatórios

Um sistema de reservatórios, como mostra a Figura 2, é formado por um grupo de reservatórios em cascata. O sistema de reservatórios é composto de subsistemas denominados Sistemas Parciais. Um sistema parcial é um conjunto de reservatórios de um sistema no qual existe apenas um exutório (saída). Para cada sistema parcial existe uma restrição de volume vazio mínimo, que deve ser menor que a soma dos volumes vazios dos reservatórios que o compõem. Estas restrições são denominadas "Condições de Controlabilidade", e são definidas a partir de um modelo desenvolvido por Marien[1]. Este modelo foi ampliado por Damázio[2] e aplicado por Rocha[3] no controle da operação de reservatórios para controle de cheias.

A partir de uma série histórica de vazões diárias (de 1949 a 1996), são geradas doze mil séries sintéticas de vazões. As trajetórias de volumes vazios calculados a partir destas séries sintéticas são sobrepostas e a curva envoltória é utilizada para definir os volumes vazios necessários para o controle de cheias. Se algumas séries sintéticas forem deixadas fora da envoltória, estamos estabelecendo um risco, que é traduzido como tempo de retorno. Por exemplo: Um risco de 5% significa que a cada 20 anos pode haver uma enchente, ou seja a probabilidade de haver uma enchente em um ano é de 1 / 20 que nos dá 0,05 ou 5%.

O período chuvoso é composto de 181 dias, compreendendo os meses de novembro a abril. Para cada dia do período chuvoso é feito o cálculo das envoltórias e determinadas as condições de controlabilidade para vários níveis de risco. Neste trabalho usaremos um tempo de retorno de 33,33 anos, que significa um risco de inundações de 3%, e escolhemos um dia dentro do período chuvoso. O dia escolhido foi o dia em que o sistema parcial formado por todos os reservatórios da configuração tivesse o maior volume de espera.

¹ ICA – Núcleo de Inteligência Computacional Aplicada. Dept. de Engenharia Elétrica-Pontifícia Universidade Católica Rio de Janeiro – Brasil

Rua Marques de São Vicente, 225 Prédio Cardeal Leme. ICA@ele.puc-rio.br

² Divisão de Apoio à Operação Energética. Dept. de Planejamento e Análise da Operação Energética-ELETOBRÁS. Rua da Quitanda, 196 – 8 andar - Rio de Janeiro - Brasil. eletdoe@fund.cepel.br

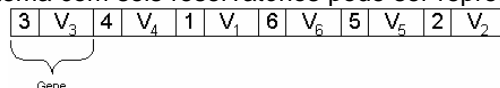
³ Departamento de Engenharia de Sistemas e Computação. Universidade Estadual do Rio de Janeiro

Sob o ponto de vista do objetivo de controle de cheias, a alocação dos volumes de espera por reservatório, respeitadas as equações das condições de controlabilidade por sistema parcial, pode ser dar através de qualquer critério. Este trabalho propõe a energia armazenada como o parâmetro a ser otimizado. A energia armazenada é a quantidade de energia em MW por segundo que pode ser gerada com o nível de água em que se encontram os reservatórios.

3 - MÉTODO

Algoritmo Genético (AG) é uma técnica de busca baseada na seleção natural e na reprodução genética. AG combina a sobrevivência do mais apto e a troca aleatória de informações através da recombinação.[4]

O cromossoma é composto por um número de genes igual ao número de reservatórios do sistema. Cada gene é composto pelo número do reservatório e o valor de volume de espera deste reservatório. Por exemplo, um sistema com seis reservatórios pode ser representado assim:



Nesta representação são manipulados os volumes dos reservatórios e a ordem com que serão alocados os volumes nos reservatórios.

Os cromossomas são inicializados aleatoriamente, em valores de volumes e em ordem. Assim, os volumes representados no cromossoma podem não atender às condições de controlabilidade. Para garantir a geração somente de soluções válidas, é necessário o uso de um decodificador dos cromossomas que produza sempre soluções legais.

Os operadores genéticos empregados neste projeto foram crossover de ordem [4] e dois tipos de mutação: troca aleatória do valor do volume de um reservatório e mutação de ajuste (Creep).[4]

Neste trabalho escolhemos a maximização da energia armazenada como forma de avaliação para o AG. Foram feitos testes com duas configurações do Sistema de Reservatórios da Bacia do Rio Paraná: 6 usinas com reservatório e 1 a fio d'água - 18 Sistemas Parciais; e 10 usinas com reservatório e 1 a fio d'água - 78 Sistemas Parciais.

4 - RESULTADOS

Para medir o desempenho médio do AG, calcula-se uma média das aptidões dos melhores indivíduos de cada geração por cada experimento.

No caso 1 foi usada uma configuração com 6 reservatórios, sendo que o reservatório de Água Vermelha não possui restrições de vazão. Isto tornou o problema muito simples para o AG. Com apenas 18 sistemas parciais e alguns com volume de espera igual a zero, as condições de controlabilidade foram facilmente respeitadas e o AG evoluiu rapidamente, achando a solução ótima por volta da trigésima geração. Isto é mostrado no gráfico da Figura 3^a

O caso 2 utiliza uma configuração expandida do sistema de reservatórios da Bacia do Rio Paraná e o 98^o dia do período chuvoso. Esta configuração composta por 10 reservatórios, possui 78 sistemas parciais. O desempenho alcançado é mostrado no primeiro gráfico da Figura 3b.

5 - CONCLUSÃO

De acordo com os testes realizados pode-se concluir que o AG utilizado conseguiu resolver o problema, fornecendo uma boa solução para a alocação dos volumes de espera com o objetivo de controle de cheias e maximizando a energia armazenada. Para se saber se a solução foi ótima, seria necessário realizar-se algumas avaliações energéticas através de simulações da operação dos sistemas brasileiros, através do modelo utilizado pelo planejamento da operação energética.

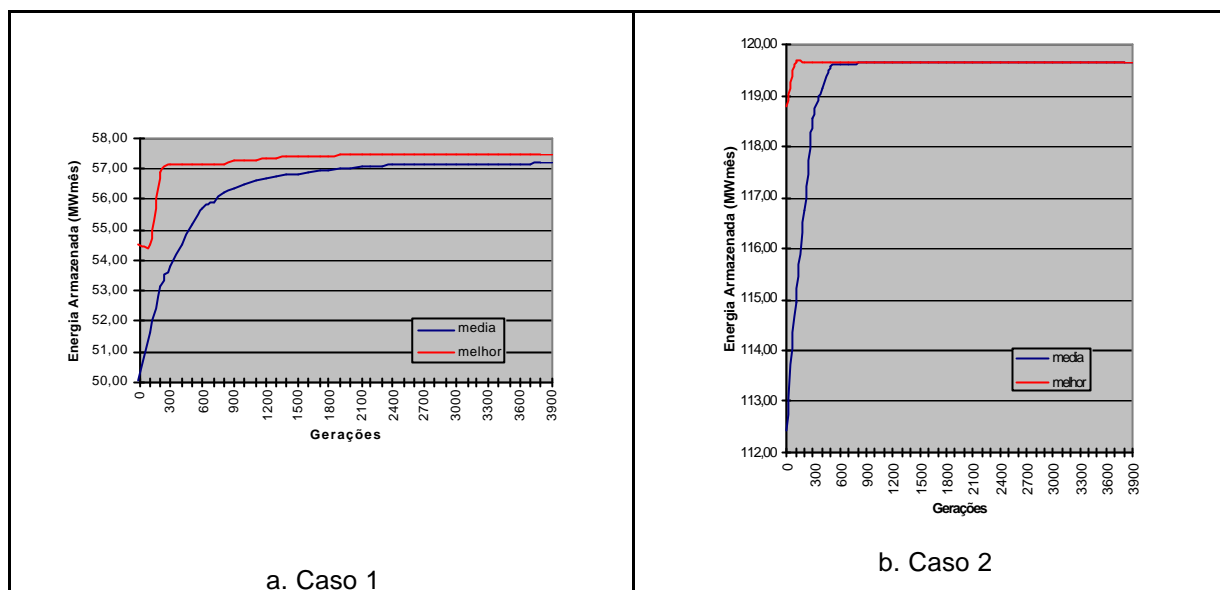


Figura 3 - Gráfico de Desempenho do AG

Estas avaliações poderiam ser as seguintes:

- Risco de Déficit de Energia Elétrica;
- Custo Esperado de Geração Térmica;
- Custo Marginal da Operação (valor da Água).

Este tipo de simulação é possível, no entanto, para sua realização, seria necessário uma adaptação do modelo de simulação para a configuração utilizada. Outro teste que não pode ser executado, foi rodar o AG para os 181 dias do período chuvoso. Neste caso, também seria importante fazer a simulação energética para uma melhor avaliação dos resultados.

6 - REFERÊNCIAS

- [1] MARIEN, J.L. (1984). Controllability Conditions for Reservoirs Flood Control Systems With Applications, Water Resources Research, V.20(1), 1477-1488.
- [2] DAMÁZIO, J.M. (1988). Condições de Controlabilidade de Sistemas de Reservatórios para Controle de Cheias e seu uso na Operação com Múltiplos Usos, Tese de Doutorado - UFRJ,.
- [3] ROCHA, V.F. (1993). Modelo de Programação da Operação de Reservatórios para Controle de Cheias com a Utilização das Condições de Controlabilidade, Dissertação de Mestrado - UFRJ.
- [4] MICHALEWICS, Z. (1992). Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, Third Revision and Extended Edition, Springer - Verlag, Berlin Heidelberg.