



**ANÁLISE MULTICRITERIAL APLICADA AO  
GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS -  
ESTUDO DE CASO DO RESERVATÓRIO DA  
BARRAGEM DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE**



Eliandra Cândido AMORIM – elian.dr@hotmail.com

Alexandre Kepler SOARES – aksoares@gmail.com

Programa de Pós Graduação Stricto sensu em Engenharia do Meio Ambiente -  
PPGEMA

**Palavras-chave:** análise multicriterial, recursos hídricos, ELECTRE

## **INTRODUÇÃO**

O gerenciamento dos recursos hídricos tornou-se necessidade de primeira ordem nos dias atuais tendo em vista o uso indiscriminado e em quantidades cada vez mais significativas desses recursos. Uma das principais características da sociedade moderna é a divergência de opiniões dos envolvidos nos problemas considerados complexos, que refletem principalmente, aspectos econômicos, ambientais e sociais. O gerenciamento é um grande desafio dos profissionais das diversas áreas comprometidas (BUSTOS, 2003), uma vez que os interesses em jogo são múltiplos e essa multiplicidade de atores e objetivos torna o processo cada vez mais complexo e cheio de obstáculos.

Tomar decisões é um processo social complexo, quase sempre influenciado por outras pessoas ou grupos de interesses que buscam, na maioria das vezes, soluções para atender a uma demanda local. A escolha das ações na busca dos melhores resultados baseia-se nos desejos, interesses e preferências do decisor e afeta de diferentes maneiras todos os grupos envolvidos no processo decisório. A análise multicriterial é um instrumento que ganhou espaço no gerenciamento desses recursos, sendo largamente utilizada em situações do cotidiano e aplicada a qualquer tipo de problema.

O reservatório do ribeirão João Leite, na cidade de Goiânia, tem atualmente seu uso destinado ao abastecimento público, o que pode significar que a gestão dos recursos hídricos, no momento, não está favorecendo os usos múltiplos. A falta de estudos que indiquem usos em potencial da água dificulta a escolha das

melhores decisões. Daí se justifica a importância deste trabalho, que utiliza a análise multicriterial como metodologia para subsidiar estudos que indiquem os potenciais usos da água do reservatório e que poderão ser usados para minimizar possíveis conflitos no âmbito do gerenciamento.

## MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do trabalho de pesquisa compreenderá:

### a) Caracterização da área de estudo

O Ribeirão João Leite nasce no município de Ouro Verde de Goiás e faz parte do Complexo Hidrográfico da Bacia do Rio Paraná. Após percorrer aproximadamente 85 km, deságua no Rio Meia Ponte. Integram sua bacia os municípios de Anápolis, Nerópolis, Goianápolis, Ouro Verde, Goiânia, Terezópolis de Goiás e Campo Limpo. A barragem do Ribeirão João Leite está localizada à montante da cidade de Goiânia, junto ao morro do Bálamo. A barragem é do tipo Concreto Compactado com Rolo (CCR) e vertedor livre central. Apresenta uma vazão regularizada de  $6,23 \text{ m}^3/\text{s}$ , com a vazão média para abastecimento de  $5,33 \text{ m}^3/\text{s}$ . O volume total do reservatório é de  $129 \text{ hm}^3$  (SANEAGO, 2011) (ver Figura 1).

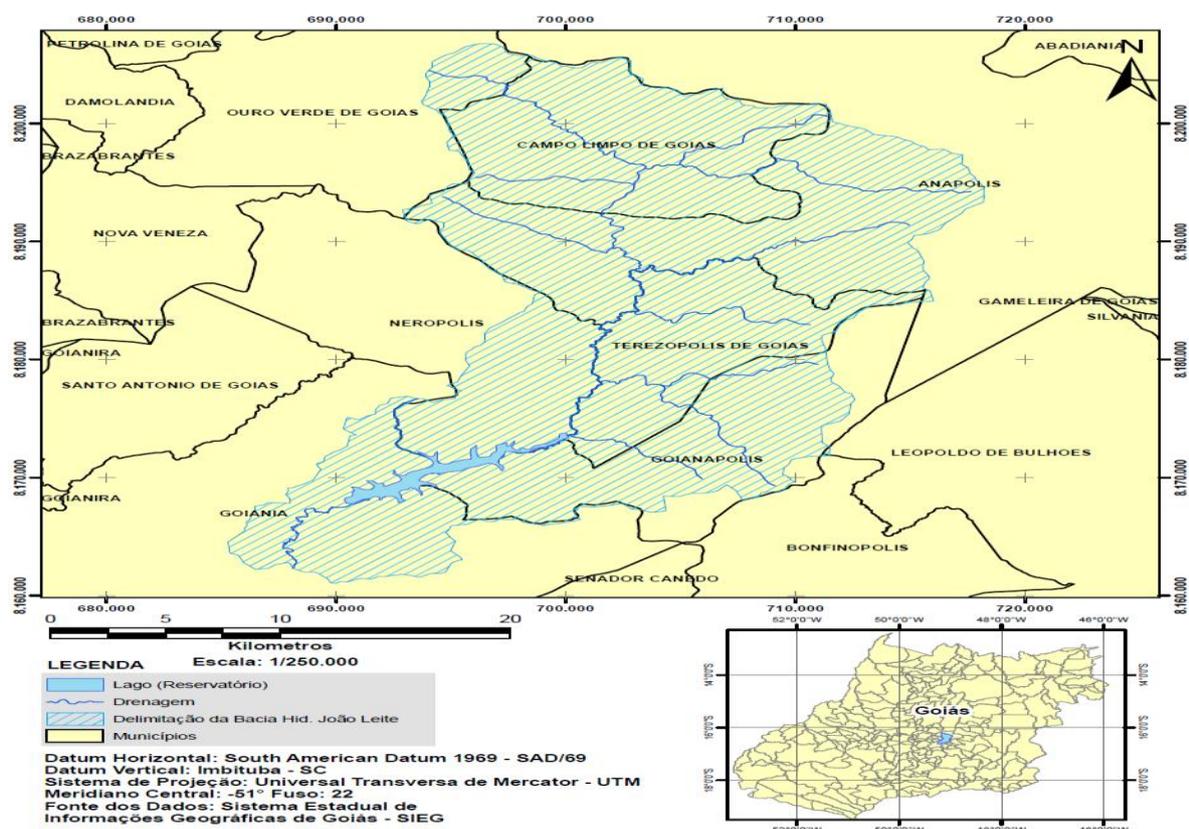


Figura 1. Localização da área de estudo

## **b) Levantamento de dados (entrevistas e aplicação dos questionários)**

A seleção de alternativas indicará quais as melhores alternativas de uso para o reservatório, de acordo com as preferências de cada um. As alternativas e critérios escolhidos nas entrevistas subsidiarão a elaboração do questionário, pois os usuários poderão acrescentar alternativas ou critérios que julgarem necessário serem incluídos no processo de análise, ou, se for o caso, poderão também sugerir a retirada dos mesmos. Os questionários serão enviados aos membros participantes com data de entrega previamente agendada para que possa, posteriormente, iniciar a fase de avaliação das ações potenciais através do ELECTRE I e II.

## **c) Definição de alternativas, objetivos e critérios**

Os critérios de julgamento escolhidos para o estudo do reservatório serão baseados na preferência dos usuários, privilegiando critérios sociais, econômicos e ambientais. Os critérios escolhidos serão divididos em subcritérios para melhorar a análise do sistema, dessa forma, a análise poderá expressar as preferências dos usuários com relação a cada um dos critérios escolhidos.

### **Peso dos critérios**

Os pesos para cada critério e suas alternativas serão representados numa estrutura hierárquica para apresentar a satisfação dos usuários em relação aos critérios sociais, econômicos e ambientais. Na aplicação dos questionários, cada usuário deverá atribuir valor dentro de uma escala de valores, baseados em suas opiniões e preferências demonstradas com valores altos para critérios considerados muito importantes e valores baixos para critérios considerados menos importantes.

### **Aplicação do ELECTRE I e II**

O método ELECTRE I é marcado pelos índices de concordância, discordância e valores limites (ZUFFO *et al.*, 2002). A concordância entre duas alternativas ( $i$  e  $j$ ) se dá quando o tomador de decisão se dispõe a escolher a alternativa  $i$  em lugar da alternativa  $j$ . Para calcular o índice de concordância,  $i = \{1, 2, 3, \dots, n\}$  representa o conjunto dos  $n$  critérios de avaliação e  $k = \{1, 2, 3, \dots, n\}$  representa o conjunto dos pesos. Assumindo  $I$  como subconjunto dos  $n$  critérios nas seguintes situações:  $I^+$  ( $i > j$ ), em que  $i$  é preferível a  $j$ ;  $I^=$  ( $i = j$ )  $i$  é equivalente a  $j$  e  $I^-$  ( $i$

< j), j é preferível a i e ainda que  $\alpha$  representa os pesos atribuídos pelos decisores aos critérios, temos:

$$W^+ = \sum_{i \in I^+} \alpha_i$$

$$W^= = \sum_{i \in I^=} \alpha_i$$

$$W^- = \sum_{i \in I^-} \alpha_i$$

Assim, o índice de concordância é definido como:

$$C(i, j) = \frac{W^+ + W^-}{W^+ + W^= + W^-}$$

O índice de discordância mede o grau de insatisfação do tomador de decisão em escolher uma dada alternativa i sobre uma alternativa j. É determinado por:

$$D(i, j) = \max_{k \in I^-} \frac{[z(j, k) - z(i, k)]}{R^*}$$

em que z(j, k) é a avaliação da alternativa j, baseada na escala numérica do critério k, e  $R^*$  é o maior valor das escalas numéricas.

O ELECTRE II utiliza como dados de entrada os gráficos obtidos no ELECTRE I, representando uma preferência de estrutura fraca e outra forte. As alternativas são ordenadas de acordo com uma classificação progressiva e outra regressiva. A classificação progressiva considera preferencialmente a construção de dois gráficos: o gráfico forte ( $G_F$ ) e o gráfico fraco ( $G_f$ ) e é obtida da seguinte forma:

1. O  $G_F(t)$  é um subconjunto do  $G_F$ ;
2. Selecionam-se as alternativas não dominadas no  $G_F(t)$ ;
3. Selecionam-se as alternativas não dominadas no  $G_f(t)$ ;
4. Obtém-se uma classificação para cada elemento que pertence ao  $G_f(t)$ ;
5. Reduzem-se os conjuntos  $G_F(t)$  e  $G_f(t)$ ;
6. Se o resultado para  $G_F(t + 1)$  for um conjunto vazio, o processo para.

A classificação regressiva é obtida da seguinte forma:

1. Invertem-se as direções das setas em  $G_F$  e  $G_f$ ;
2. Obtém-se uma classificação  $a(x)$ , da mesma forma que a classificação progressiva;
3. Reajusta-se a classificação, fazendo:

$$v''(x) = 1 + a_{max} - a(x), \quad \forall x \in X$$

em que  $X$  é o conjunto de todas as alternativas e  $a_{max} = \max_{x \in X} a(x)$ .

A classificação final das alternativas,  $\bar{u}(x)$ , é calculada por:

$$m(x) = v' + \frac{v''}{2}, \quad \forall x \in X$$

com a ordenação crescente dos valores dados por  $m(x)$ .

## RESULTADOS ESPERADOS

O que se espera como resultados desta pesquisa é que ao final dela seja possível detectar se a análise multicriterial é realmente eficiente para indicar os potenciais usos múltiplos do reservatório do ribeirão João Leite, bem como construir um vetor de prioridades. Espera-se ainda comprovar a eficiência dos métodos multicriteriais ELECTRE I e II quanto ao gerenciamento dos recursos hídricos do reservatório em questão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUSTOS, Myriam Ruth Lago. **A educação ambiental sob a ótica de recursos hídricos**. 2003. 194 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

SANEAGO. **Projeto de Ampliação do Sistema Produtor de Água de Goiânia e Áreas Conurbadas – Sistema João Leite**. Disponível em: < <http://www.saneago.com.br/> >. Acesso em 19 de abril de 2011.

ZUFFO, et al. Aplicação de Métodos Multicriteriais ao Planejamento de Recursos Hídricos. RBRH - **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, volume 7, nº 1, janeiro/março 2002, p. 81-102.

## AGRADECIMENTOS:

*A CAPES pela bolsa de estudos concedida ao primeiro autor deste trabalho; ao CNPQ pelo auxílio financeiro através do Edital MCT/CNPq 14/2010 e à FAPEG pelo auxílio financeiro através do projeto Avaliação da Qualidade Ambiental da Bacia Hidrográfica e do Reservatório do Ribeirão João Leite.*