

MODELO MATEMÁTICO PARA REPRESENTAR A DINÂMICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E SEUS CORPOS D'ÁGUA

BRAULIRO G. LEAL¹, MÁRCIO J. CATALUNHA², GILBERTO C. SEDIYAMA³

Escrito para apresentação no
XXXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
28 de julho a 01 de agosto de 2003 - Goiânia - GO

RESUMO: Desenvolveu-se um modelo matemático capaz de representar as características mais importantes de bacias hidrográficas e suas variações espaço-temporais a partir de seus corpos d'água os quais são divididos em segmentos. Dentre as utilizações possíveis deste modelo pode-se destacar a outorga dos recursos hídricos em bacias hidrográficas, o que pode ser feito a partir cenários hidrológicos, ambientais ou econômicos criados em cada segmento e integrado para toda bacia. O modelo apresentado pode ser utilizado para representar a dinâmica de outros sistemas de distribuição de líquidos ou gases em condutos livres ou forçados.

PALAVRAS-CHAVE: recursos hídricos, outorga, modelo matemático.

MATHEMATICAL MODEL TO REPRESENT WATERSHED'S DYNAMICS AND YOUR BODIES OF WATER

ABSTRACT: A mathematical model was developed capable to represent the important characteristics of watersheds and your variations space-storms starting from your bodies of water, which are divided in segments. Among the possible uses of this model it can stand out the process of electric outlet of decision in the concession of the it grants of the water resources in watersheds, what can be made to break sceneries hydrologic, environmental or economical servants in each segment and integrated for every basin. The presented model can be used to represent the dynamics of other systems of distribution of liquids or gases in conduits free or forced.

KEYWORD: water resources, grants, mathematical model.

INTRODUÇÃO: O cenário global e local no uso múltiplo da água apresenta um quadro de crescente escassez e degradação deste recurso. Da quantidade de água existente no planeta, 93,94% se encontra nos oceanos, portanto imprópria para uso direto; outros 6,04%, em águas subterrâneas e gelo de difícil acesso; e 0,02% em rios e lagos. No globo somos mais de seis bilhões de habitantes, sendo 517 milhões de habitantes na América latina (ANA, 2002). O Brasil possui 12 regiões hidrográficas e em 6 destas a porcentagem de demanda de água para a irrigação e dessedentação de animais é superior a 74% do total da bacia e a taxa de urbanização é superior a 73%. Nas outras cinco regiões, com menos que 58% de uso da água para irrigação e dessedentação de animais, têm-se índices de até 90% de urbanização (ANA, 2002). Segundo PEREIRA NETO (1996), o tratamento de esgotos é ainda um desafio de grandes dimensões no Brasil, uma vez que apenas cerca de 20% do esgoto urbano passa por alguma estação de tratamento para a remoção de poluentes, antes do despejo final em algum rio ou no

¹ Doutor em Eng. Agrícola, Professor Titular da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Vale do Rio Doce, Caixa Postal 290 Governador Valadares – MG 35.020-220; e-mail: brauliro@univale.br

² Doutorando em Eng. Agrícola – UFV/MG. e-mail: catalunha@catalunha.eng.br.

³ P.Ph.D. em Eng Agrícola, Professor Titular Departamento de Eng. Agrícola – UFV/MG. e-mail: sediyama@ufv.br.

mar. A porcentagem de água disponível em rios, a utilização na agropecuária e a densa população urbana e a industrialização geram dois problemas graves na gestão de recursos hídricos: (a) a poluição e (b) a competição pelo recurso (FREITAS, 1996). A lei 9.433/97 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos. Em seu Artigo 1º, inciso IV, relata que “A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas”. No Artigo 7º, sobre o planejamento de recursos hídricos, no inciso III, ressalta o seguinte objetivo mínimo do planejamento: “Balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais”. No Artigo 26, sobre princípios básicos para o funcionamento do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, o inciso I estabelece a “descentralização da obtenção e produção de dados e informações”, o inciso II a “coordenação unificada do sistema”, e o inciso III o “acesso aos dados e informações garantido a toda a sociedade” (SETTI, 1996). De fevereiro a outubro de 2001, a ANA analisou e emitiu notas técnicas favoráveis a 103 pedidos de outorga de água, 61% deles referentes à irrigação. O Instituto de Gestão de Águas de Minas Gerais (IGAM) recebeu cerca de 438 requerimentos de outorga só no período de janeiro de 2003 (IGAM, 2003). A ferramenta de Sistemas de Informações Geográfica (SIG), tem sido utilizada como um poderoso meio de representação e estudo de bacias hidrográficas. Possibilitando, através de uma considerável manipulação de arquivos de imagens e dados a elaboração de um cenário estático das informações (SANTOS, 2001). Contudo, devido ao preço dos softwares e hardwares e a necessidade de conhecimento especializado na utilização destas ferramentas, torna-se uma atividade restrita a poucos especialistas e órgãos para estudo de atividades hidrológicas. Além do mais, o processo de reavaliação de uma informação pontual no mapa elaborado, exige o retorno a todos os passos transcorridos na sua elaboração, o que demanda tempo e conhecimento especializado. Outro aspecto é que a base de dados resultante não esta estruturada para fácil reutilização em outros processos de simulação. Diante destas situações, o presente trabalho apresenta e discute um modelo matemático capaz de representar bacias hidrográficas e sua variação espaço-temporal. O modelo proposto pode ser usado para representar bacias hidrográficas em termos computacionais, gráficos e de banco de dados, permitindo a administração, manejo e outorga dos seus recursos. Nele, a oferta de recursos hídricos é considerada com base nas características geográficas, hidráulicas, geológicas, físicas, químicas, biológicas, climáticas, ambientais e econômicas dos corpos d’água; e a demanda como sendo agrícola, pecuária, industrial, urbana, transporte, energético e lazer.

MATERIAIS E MÉTODOS: Em estudos hidrológicos, a unidade básica geralmente considerada para análise é a bacia, sub-bacia, região de drenagem de um rio, ou rio (TUCCI et al., 1983 e VILLELA e MATTOS, 1977). Contudo, o presente trabalho propõe uma análise em unidades menores, ou seja, a divisão do corpo d’água em intervalos denominados segmento de corpo d’água e, quando da aplicação da gestão, estes poderão ser integrados até ao nível mais elevado desejado, Figura 1(a). Neste sentido um corpo d’água pode ser um rio, um lago, uma represa, um poço, dentre outros. Cada segmento possui propriedades da oferta de recursos hídricos do corpo d’água (geográficas, hidráulicas, geológicas, físicas, químicas, biológicas, climáticas, ambientais e econômicas) bem como da demanda (agrícola, pecuária, industrial, urbana, transporte, energética e lazer) Figura 2(b). Esta abordagem possibilita avaliar o uso da água e o seu impacto ambiental, permitindo estabelecer zonas de conflito e respondendo as principais perguntas referentes aos recursos hídricos: Quanto tem? Quanto usa? Como temos? Como usamos? Onde temos? No que usamos? Quando temos? Quando usamos? O modelo de representação proposto compreende os rios que são formados por segmentos e a bacia aqui representada pela integração dos segmentos dos rios. O atributo de uma bacia pode ser transformado em variáveis cujos valores podem ser quantificadas ao longo do tempo.

RESULTADO E DISCUSSÃO: Considerando uma bacia hidrográfica B_b , composta por nbc corpos d’água C_{bc} , $c = 1, \dots, nbc$, desta forma B_b pode ser representada pela Equação 1.

$$B_b = \{C_{bc}\}_{c=1}^{nbc} \quad (1)$$

em que,

B_b = Bacia hidrográfica b;

C_{bc} = Corpo d'água c da bacia hidrográfica b; e
 nbc = Número de corpos d'água contido na bacia hidrográfica b.

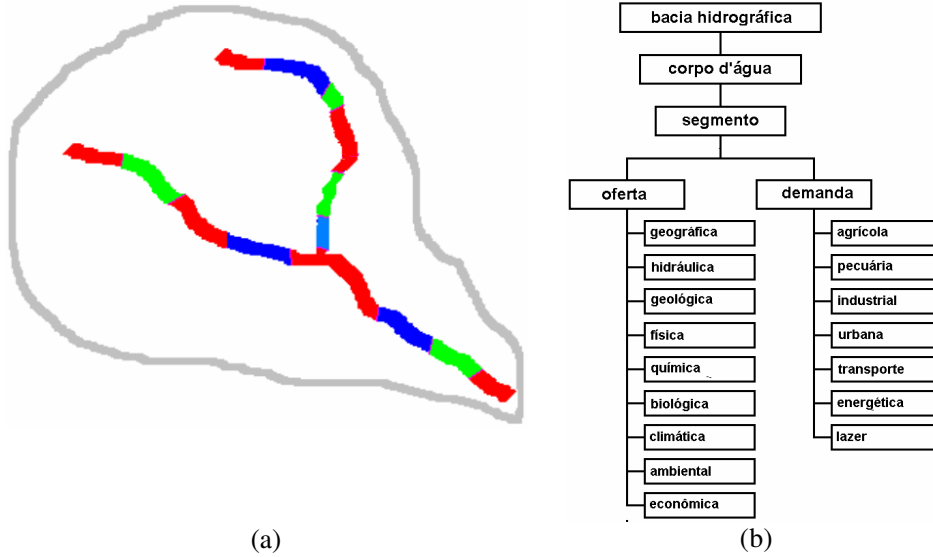


Figura 3 –Representação gráfica de uma bacia hidrográfica a partir dos seus segmentos de rios. A escala de cores indica a variação de seus atributos (a); diagrama representando os itens de oferta e demanda para segmentos de corpos d'água de bacias hidrográficas.

Um corpo d'água, C_{bc} pode ser dividido em nbc s segmentos ou trechos, S_{bcs} , $s = 1, 2, \dots, nbc$ s. Sendo assim, C_{bc} pode ser representada pela Equação 2.

$$C_{bc} = \{S_{bcs}\}_{s=1}^{nbc} \quad (2)$$

em que,

C_{bc} = Corpo d'água c da bacia hidrográfica b;
 S_{bcs} = Segmento s do corpo d'água c da bacia hidrográfica b; e
 nbc = Número de segmentos contidos no corpo d'água c da bacia hidrográfica b.

A representação matemática de um segmento de corpo d'água deve possuir parâmetros capazes de os identificarem univocamente com seu corpo d'água e de guardar suas características mais relevantes. Desta forma, um segmento S_{bcs} é representado pela Equação 3, considerando sua oferta como sendo propriedades geográficas (R), hidráulicas (H), geológicas (G), físicas (F), químicas (Q), biológicas (V), climáticas (M), ambientais (O) e econômicas (E); e sua demanda como sendo propriedades agrícolas (A), pecuárias (P), industriais (I), urbanas (U), transporte (T), energético (N), e lazer (L). Cada uma destas propriedades podendo ainda ser representada pela Equação 4.

$$S_{bcs} = \{R, H, G, F, Q, V, M, O, E, A, P, I, U, T, N, L\} \quad (3)$$

$$X_{bcxs} = \{Y_{bcxsi}, F_{bcxsi}\}_{i=1}^{nbcxs} \quad (4)$$

em que,

X, x = corresponde às letras das propriedades da Equação 3;
 Y = Valor quantitativo ou qualitativo da variável i da propriedade X do segmento s do corpo d'água c da bacia hidrográfica b;
 F = Descrição da variável i da propriedade X do segmento s do corpo d'água c da bacia hidrográfica b; e
 $nbcxs$ = número de variáveis da propriedade X.

Desta forma, uma bacia hidrográfica e sua variação espaço-temporal, H, podem ser representadas pela Equação 5.

$$H = \left\{ D_h, \left\{ \left\{ \left\{ R_{hbcsri}, F_{hbcsri} \right\}_{i=1}^{nbcsr}, \dots, \left\{ L_{hbcsli}, F_{hbcsli} \right\}_{i=1}^{nbcsli} \right\}_{s=1}^{nbcs} \right\}_{c=1}^{nbc} \right\}_{b=1}^{nb} \right\}_{h=1}^{nh} \quad (5)$$

em que,

D = data e hora da observação de valores quantitativos ou qualitativos da bacia (dd/mm/aaaa hh:mm:ss);

nh = número de observações realizadas na bacia.

A Equação 5 pode ser utilizada para representar sistemas de distribuição de líquidos e gases em condutos livres ou forçados, como por exemplo: bacias hidrográficas, redes de drenagem urbanas, sistemas de canais de irrigação, rede de distribuição de água, gasodutos e oleodutos. Podendo representar tanto suas dimensões espaciais quanto temporais. Dele podem ser derivados algoritmos computacionais, imagens gráficas estáticas e dinâmicas, regras para formatação de banco de dados para uso em sistemas de informação. Nele pode-se ainda aplicar as operações matemáticas convencionais, as leis físicas da mecânica do contínuo e da hidráulica.

CONCLUSÃO: Desenvolveu-se um modelo matemático para representar bacias hidrográficas e sua variação espaço-temporais. Neste modelo, uma bacia é constituída por corpos d'água e estes são divididos em segmentos. A cada segmento são atribuídas variáveis e parâmetros capazes de representar suas características mais relevantes. Cenários hidrológicos, ambientais ou econômicos podem ser criados e analisados ao longo de cada segmento e integrado para toda bacia. A simulação espaço-temporal utilizando computadores torna-se possível a partir de modelos de banco de dados dele derivados. Dentre as utilizações possíveis deste modelo pode-se destacar o processo de tomada de decisão na concessão da outorga dos recursos hídricos em bacias hidrográficas. O modelo apresentado pode ser utilizado para representar a dinâmica de outros sistemas de distribuição de líquidos ou gases em condutos livres ou forçados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

BRASIL. **Agência Nacional de Águas – ANA.** Órgão Federal de gestão de recursos hídricos do Brasil. Disponível em www.ana.gov.br. Consultado em: 20/03/2003.

BRASIL. **Instituto de Gestão de Águas de Minas Gerais - IGAM.** Órgão Estadual de gestão de recursos hídricos. Minas Gerais/Brasil. Disponível em www.igam.mg.gov.br. Consultado: 20/03/2003.

FREITAS, A. J. **Gestão de recursos hídricos.** Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior ABEAS - Brasília DF : ABEAS; Viçosa, MG: UFV, 1996. 70p. (Módulo 1).

PEREIRA NETO, J. T. **Tratamento e destinação de resíduos provenientes de empreendimentos agrícolas.** Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior - ABEAS – Brasília DF: ABEAS; Viçosa, MG: UFV, 1996. 63p. (Módulo 6.1).

SETTI, A. A. **Legislação para uso dos recursos hídricos.** Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior - ABEAS Brasília DF: ABEAS; Viçosa, MG: UFV, 1996. 64p. (Módulo 2).

SANTOS, A. R. **Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo, micro-região de Viçosa.** Dissertação (Doutorado em Eng. Agrícola) Departamento de Engenharia Agrícola – UFV Viçosa/MG. 2001. 125p.

TUCCI, C. E. M. *et al.* **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: ABRH-EDUSP, 1983, 943p.

VILLELA, S. M. e MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 1977. 245p.