

---

## BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO RIO PARAIBA DO SUL COM AUXÍLIO DO GEOPROCESSAMENTO

---

JOSÉ LUIZ VIANA DO COUTO  
Mestre, Prof. Adjunto, DE-IT-UFRRJ

### RESUMO

Com auxílio do *software* de Geoprocessamento SAGA/UFRRJ, foi feito o balanço hídrico da bacia do Rio Paraíba do Sul, a partir de dados de chuva, evaporação e estimativa dos consumos de água urbanos, industriais e de irrigação.

**Palavras-chaves:** balanço hídrico, geoprocessamento, "software"

### ABSTRACT

#### HIDRIC BALANCE OF PARAIBA DO SUL RIVER'S WATERSHED USING GIS

With the aid of Geoprocessing *software* SAGA/UFRRJ, is show the water balance of Paraíba do Sul River watershed, using rain data, evaporation and estimate of urban, industries and irrigation water consumptions.

**Key words:** geoprocessing, hidric balance, software

### INTRODUÇÃO

Balanço Hídrico de uma Bacia Hidrográfica é a quantificação do fluxo de água global, num dado período, em que se contabilizam as **entradas** (precipitação) e **saídas** (evaporação, consumo, irrigação) de água da bacia, para fins de planejamento regional e/ou implantação de uma Política de Gerenciamento dos Recursos Hídricos.

A bacia do Rio Paraíba do Sul, para nós é muito importante, seja por sua localização geográfica como pelo peso econômico: serve aos Estados de SP, RJ, MG e ES.

Este trabalho utiliza o Sistema de Análise Geo-Ambiental - SAGA/UFRRJ como auxiliar no cálculo do Balanço Hídrico do Rio Paraíba do Sul.

Desde a década de 1970 discute-se a necessidade da adoção no Brasil de um Sistema capaz de definir uma Política e um Plano Nacional de Recursos Hídricos. Em 29/03/78 foi criado o Comitê Especial de Estudos Integrados das Bacias Hidrográficas - CEEIBH, órgão destinado a abrir novos caminhos no gerenciamento dos recursos hídricos no País. Este Comitê Especial, que considerava como unidade de administração do recurso hídrico a bacia hidrográfica, buscava coordenar os diversos organismos envolvidos direta ou indiretamente com a água, procurando ajustar os conflitos de seu uso. Uma das primeiras bacias hidrográficas a ser considerada, foi a do Rio Paraíba do Sul, com a criação do Comitê Executivo de Estudos Integrados do Rio Paraíba do Sul - CEEIVAP.

Embora a Constituição de 1988 tenha previsto a instituição pela União do **Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**, somente em 1991 o Governo encaminhou ao Congresso Nacional o PL 2.249 dispondo sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos e criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Enquanto esta Lei não é aprovada, Convênio firmado com o Governo Francês e considerando estudos da antiga CEEIVAP, concluiu recentemente o Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Paraíba do Sul, com vistas ao gerenciamento dos seus recursos hídricos. O gerenciamento envolve aspectos de qualidade e de quantidade de água na bacia. A abordagem quantitativa, enfocada neste trabalho, é feita através do Balanço Hídrico da Bacia, cotejado com o Balanço Hídrico para a Região Sudeste, realizada pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE em 1984.

O objetivo deste trabalho é mostrar um método alternativo de planimetria das áreas entre isoietas (linhas de mesma altura de chuva), para o cálculo da Altura de Chuva Média na Bacia, como parte da estimativa do Balanço Hídrico da Bacia do Rio Paraíba do Sul.

Estudos elaborados na década de 80 pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE na Bacia do Rio Paraíba do Sul (*Revista Engenharia Sanitária*, jul-set/84), já diagnosticavam a necessidade da atualização do balanço hídrico da bacia, considerando as demandas urbanas, industriais, de irrigação e a derivação de águas do Sistema Light-Rio, entre outras medidas.

O Balanço Hídrico de uma bacia hidrográfica, num período determinado, pode ser esquematizado (GARCEZ, 1967) pela seguinte equação:

$$P + R = Q + E + (R + R) \quad \text{onde}$$

P = precipitação;

R = reservas subterrâneas;

Q = escoamentosuperficial;

E = evapotranspiração.

O método mais preciso para avaliar a precipitação média em uma área é o Método das Isoietas (VILLELA, 1975).

A precipitação média sobre uma área é calculada ponderando-se a precipitação média entre isoietas sucessivas, pela área entre elas, totalizando-se esse produto e dividindo-se pela área da bacia (GARCEZ, 1967), ou seja:

$$h = [\sum (h_i + h_{i+1})/2] \cdot A_i / AR \quad \text{onde}$$

h = chuva média;

$h_i$  = valor da isoietas de ordem i;

$h_{i+1}$  = valor da isoietas seguinte;

$A_i$  = área entre duas isoietas contíguas;

e AR = área da bacia hidrográfica.

O SIG utilizado neste trabalho, o SAGA/UFRJ, constitui um "software" de análise ambiental de base matricial desenvolvido pelo Laboratório de Geoprocessamento do Depto. de Geografia - LAGEOP/UFRJ, voltado à elaboração de diagnósticos e prognósticos ambientais (IERVOLINO, 1995).

O módulo *Assinatura Ambiental* do SAGA/UFRJ permite a associação de características do meio físico que estão relacionadas à definição do ambiente de ocorrência de um determinado fenômeno ambiental (XAVIER DA SILVA, 1993).

## MATERIAIS E MÉTODOS

A base de dados gráfica utilizada neste estudo consta de dois mapas planimétricos da bacia do Rio Paraíba do Sul, na escala aproximada de 1:2000000, contendo as isolinhas de altura de chuva (isoietas) e de evaporação e anexados ao *Boletim Pluviométrico* do DNAEE (P5.01, MME, 1980). Estes mapas foram digitalizados em microcomputador PC compatível do LGEO da UFRJ, com auxílio de *scanner* de mesa e resolução de 75 dpi (pontos por polegada) e o "software" SAGA/UFRJ.

Utilizou-se o módulo *Assinatura Ambiental* do SAGA/UFRJ para o cálculo das áreas entre isoietas e isolinhas de evaporação da bacia e

respectiva porcentagem da área ocupada.

O cálculo da chuva média na bacia que serviu de *input* ao Balanço Hídrico da Bacia do Rio Paraíba do Sul, foi realizado pelo método da **Altura de Chuva Equivalente**, conceituada como uma lâmina única e uniforme, cobrindo toda a área da bacia. A equação:

$$h = Pi.Ai/AR$$

representa:

h = altura de chuva equivalente (mm);

Pi = precipitação entre duas isoietas sucessivas (mm);

Ai = área entre duas isoietas sucessivas (km<sup>2</sup>) e AR=área da bacia (km<sup>2</sup>).

Utilizou-se a mesma equação para calcular a lâmina evaporada, substituindo-se simplesmente as isoietas pelas isolinhas de evaporação.

As estimativas de consumo para abastecimento, indústria, irrigação e geração de energia (Sistema Light-Rio) foram anotadas em Seminário realizado na UFRJ sobre o Rio Paraíba do Sul e a Bacia de Campos, no período de março a julho de 1995.

O Balanço Hídrico na Região Sudeste foi transcrito da Revista Engenharia Sanitária (DNAEE, 1984 - Quadro 1), onde inseriu-se uma última linha com o Balanço Hídrico da Bacia do Rio Paraíba do Sul, para cotejo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados fornecidos pela planimetria do módulo *Assinatura Ambiental* do SAGA/UFRJ sobre os arquivos *raster* contendo as áreas da bacia compreendidas entre as isoietas e

isolinhas de evaporação da bacia, devidamente aplicados na equação da *Altura de Chuva Equivalente*, resultaram em 1353,93 mm para a Chuva e 713,98 mm para a Evaporação. A diferença, 639,9 mm ou 35,4 km<sup>3</sup> (considerada a área da bacia em 55400 km<sup>2</sup>), foi imputada ao escoamento superficial ou vazão na foz do rio Paraíba do Sul.

Deste total, no Balanço Hídrico, foram subtraídos os volumes destinados ao *uso doméstico* (60.000 l/s ou 1,89 km<sup>3</sup>), *uso agrícola* (40.000 l/s ou 1,26 km<sup>3</sup>), *uso industrial* (30.000 l/s ou 0,95 km<sup>3</sup>) e *derivação para o Guandú* (160.000 l/s ou 5,05 km<sup>3</sup>).

Segundo a Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Estado do Rio de Janeiro - CEDAE, o volume de água potável produzido na capital em 1991 foi de 3.633.000 m<sup>3</sup>/d, para uma população de 6 milhões de habitantes, o que corresponde a 1,33 km<sup>3</sup>./ano. Como o volume de água derivado da Bacia do Rio Paraíba do Sul pelo Sistema Light-Rio atende prioritariamente à geração de energia elétrica, na demanda para a indústria (Quadro 1), somou-se a diferença entre a derivação para o Guandú e o consumo urbano, ou seja:  
 $0,95 + (5,04 - 1,33) = 4,66 \text{ km}^3$ .

Com base nesses quantitativos, é possível estimar a capacidade da bacia em *produzir água*, calculando-se a **vazão específica da bacia**:

- vazão na foz:  $(35,4 - 7,8 \text{ km}^3)/3,15 = 8,8 \times 10^5 = 880.000 \text{ l/s}$

- vazão específica:  $880 \text{ m}^3/\text{s}/55.400 \text{ km}^2 = 0,016 \text{ m}^3/\text{s}.\text{km}^2$  ou ainda:

$$Q_{\text{esp.}} = 16 \text{ l/s}.\text{km}^2$$

Seguem-se os resultados globais encontrados:

Quadro 1 - balanço hídrico na região sudeste (1984) e balanço hídrico na bacia do rio paraíba do sul (1980), (km<sup>3</sup>/ano)

U.F.	TOTAL	URB.	IND.	IRR.	DEM.	DEM./DISP. (%)	URB.+IND./ DI.-IRR. (%)	POP. x10 <sup>6</sup> hab.
MG	193,9	1,22	0,59	1,63	3,44	1,77	0,94	15,7
SP	91,9	2,74	4,16	1,81	8,71	9,48	7,66	31,5
RJ	29,6	1,03	0,73	0,63	2,39	8,07	6,08	12,8
ES	18,8	0,18	0,08	0,22	0,48	2,55	1,40	2,6
Total	334,2	5,17	5,56	4,29	15,02	4,49	3,25	62,6
Bacia	35,4	1,89	4,66	1,26	7,81	22,06	31,49	10,0

FONTES: DNAEE (1984), Saneamento Ambiental (1991), ABES (1994) e Seminário de Doutorado da UFRJ (1995).

Pelo Quadro 1 acima vê-se que, em termos de região Sudeste, tem-se uma demanda total para abastecimento (URB.), indústria (IND.) e irrigação (IRR.), correspondente a 4,5% das disponibilidades totais (DEM./DISP.) de água de superfície, segundo dados do DNAEE (1984).

O balanço das demandas para abastecimento público, indústrias e irrigação, relacionadas às disponibilidades, por UF, indica maior consumo relativo em São Paulo (9,5%), Rio de Janeiro (8,1%), Espírito Santo (2,5%) e Minas Gerais (1,8%). O fato de ter-se no Rio de Janeiro e São Paulo demandas de água superiores a 8% da vazão média de longo período, significa que em épocas de estiagem, em áreas de maior concentração de demandas e/ou poluição de recursos hídricos, *já se tem escassez de água*, configurando-se a necessidade de geri-la (BARTH et al., 1987, citado em **Saneamento Ambiental**, 1991).

Analisando-se a demanda de água para consumo urbano proveniente da bacia, em relação à região Sudeste, verifica-se que corresponde a um montante de 36%, só sendo superado, em termos de UF, por São Paulo. A cidade do Rio de Janeiro, por sua vez, é quase totalmente abastecida, via rio Guandú, pela bacia do Rio Paraíba do Sul. O consumo de água para a indústria também é considerável

(a bacia responde por cerca de 84% do consumo da região Sudeste), citando-se como grandes usuários: o Sistema Rio-Light (geração de energia elétrica), a Companhia Siderúrgica Nacional - CSN (a maior da América Latina) e cerca da metade das indústrias da Região e 67% da produção. A demanda para irrigação (29% da região) não é desprezível, concentrando-se praticamente na zona paulista da bacia.

Somando-se os principais usos da água (consumo doméstico, industrial e irrigação), a bacia do Rio Paraíba do Sul responde por mais da metade (52%) da demanda regional, com destaque para as indústrias. Segundo a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, das 5 macrorregiões em que está dividido o Brasil, a Região Sudeste (onde se localiza a bacia do Rio Paraíba do Sul) é a mais populosa (62.660.700 hab) contando com uma área de 924.266 km<sup>2</sup>, o equivalente a 10,8% do País. Possui a maior densidade demográfica (67,8 hab./km<sup>2</sup>) e a urbanização mais elevada (88%), atraindo grande número de migrantes.

## CONCLUSÃO

O Geoprocessamento é uma técnica que não pode ser desprezada nos estudos de

diagnósticos ambientais necessários ao equacionamento dos problemas hídricos de uma bacia de drenagem. O SAGA/UFRJ, em particular, através do seu módulo *Assinatura Ambiental*, substitui com nítidas vantagens o **planímetro** no cálculo das áreas entre isoietas, principalmente nos casos em que, por questões de escala ou proximidade das isolinhas, somente o poderoso recurso de zoom do "software" pode resolver o problema com a precisão desejada.

#### LITERATURA CITADA

- ABES. *Saneamento no Rio*. Catálogo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - CABES XVII, Rio de Janeiro, 17a.; 285-288, 1994.
- . *Ação do DNAEE na Área de Recursos Hídricos - Regiões Sudeste e Sul*. Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro, 23(3); 238-268, jul./set., 1984.
- BURSZTYN, M.A.A. *Utilização Racional dos Recursos Hídricos*. Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro, V.21, N 4; 460-464, out./dez., 1982.
- . *CEEIBH Relata o que já fez para Preservar as Bacias Hidrográficas*. Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro, 20(2); 125-140, abr./jun., 1981.
- . *Concluído Diagnóstico do Paraíba do Sul*. Saneamento Ambiental, São Paulo, 31;6, mar./abr., 1995.
- . *Estudos Integrados da Bacia do Paraíba do Sul*. Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro, 21(2); 150-161, abr./jun., 1982.
- GARCEZ, L.N. *Hidrologia*. Rio de Janeiro, Ed. Edgar Blucher, 1967.
- GONÇALVES, F.B. *Um Ensaio de Solução para o Problema dos Resíduos Industriais no Vale do Rio Paraíba do Sul*. Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro, 22(1); 91-100, jan./mar., 1983.
- IERVOLINO, P. *Utilização de Sistemas de Informação Geográfica na Individualização de Domínios Geodinâmicos na Região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (RJ)*. Anais II do VI Congresso Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Goiânia, 1995.
- RAMEH, C.A.S. *A Qualidade das Águas e seu Monitoramento*. Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro, V.34; 190-191, jul./dez., 1980.
- REBOUÇAS, A.C. *Poluição das Águas no Brasil*. Saneamento Ambiental, São Paulo, 15; 14-21, ago./set., 1991.
- SILVA, C.C.A. *Considerações à Respeito do Planejamento dos Recursos Hídricos*. Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro, V.20; 48-48, jan./mar., 1981.
- VILLELA, S.M. *Hidrologia Aplicada*. São Paulo, Ed. Mc Graw Hill, 1975.
- XAVIER-DA-SILVA, J. *Sistemas de Informação Geográfica - Uma Proposta Metodológica*. Anais do Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, São Paulo, 1993.