

ISSN 1806-4051  
Vol. 7 - no. 2 - (jul./dez. 2010)

# Regda

REVISTA DE GESTÃO DE ÁGUA DA AMÉRICA LATINA  
REVISTA DE GESTION DEL AGUA DE AMERICA LATINA





#### EDITORES EXECUTIVOS

Carlos E. M. Tucci, IPH, UFRGS, Brasil  
Andrei Jouravlev, CEPAL, Chile  
Antônio Domingues Benetti, IPH, UFRGS, Brasil  
Walter Collischonn, IPH, UFRGS, Brasil

#### EDITORES ASSOCIADOS

Adalberto Meller  
Adilson Pinheiro  
Adriano Fontainhas Bandeira  
Adriano Rolim da Paz  
Alex Santana  
Adolfo Villanueva  
Armando Bertranou  
Armando Pires  
Bruno Collischonn  
Carlos Depettris  
Carlos Nobuyoshi Ide  
Carlos Ruberto Fragozo Junior  
Christopher Freire Souza  
Cleuda Freire  
Cristiano Poletto  
Cristina Pacholato  
Cristóvão Scapulatempo Fernandes  
Daniel Allásia Piccilli  
Daniela Costa Bemfica  
Dante Gama Larentis  
Diego Polacchini Carrillo  
Dieter Wartchow  
Diogo Costa Buarque  
Eduardo Von Sperling  
Eneas de Souza Machado  
Francisco Lobato  
Fernán Vergara

Fernando Falco Pruski  
Fernando Meirelles  
Francisco Assis de Souza Filho  
Francisco Bragança de Souza  
Francisco Forgiarini  
Geraldo Lopes da Silveira  
Gino Gehling  
Giuliano Marcon  
Ingrid Illich Muller  
Jaime Cabral  
Jair Koppe  
Janine F. Haase  
Joel Avruch Goldenfum  
José Antonio Louzada  
José Carlos Mierzwa  
José Luiz Flores Machado  
José Nilson B. Campos  
Jorge Victor Pilar  
Julio Gomes  
Juan Carlos Berton  
Juan Martin Bravo  
Jussara Cabral Cruz  
Lafayette Dantas da Luz  
Lauro Beltrão  
Lucia Helena Ribeiro Rodrigues  
Luciano Meneses C. da Silva  
Luis Alcides Miranda

Luiz Fernando Cybis  
Márcia Maria Rios Ribeiro  
Márcio B. Baptista  
Marcos Imério Leão  
Marcos Tozzi  
Maria do Carmo Gastaldini  
Maria Lucia Silva  
Mario Luiz Damé Wrege  
Marllus Gustavo Passos das Neves  
Masato Kobiyama  
Mauro Naghettini  
Miriam Moro Mine  
Mônica Porto  
Néstor Aldo Campana  
Nídio Barni  
Ninon Machado  
Pierre Chevallier  
Rafael Souza  
Roberto Kirchheim  
Rogerio Dewes  
Rutinéia Tassi  
Sidnei Gusmão Agra  
Teresinha Guerra  
Wilson Cabral de Souza Junior  
Yvonilde Dantas P. Medeiros

#### ENDEREÇO PARA CORRESPONDÊNCIA

ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos  
Av. Bento Gonçalves, 9500 – IPH/UFRGS  
Caixa Postal 15029  
CEP 91501-970 – Porto Alegre, RS, Brasil  
Fone: (51) 3493-2233 / 3308-6652  
Fax: (51) 3493 2233  
E-mail: [rega@abrh.org.br](mailto:rega@abrh.org.br)

#### IMPRESSÃO

Editora Evangraf  
Rua Waldomiro Schapke, 77 – Porto Alegre, RS  
Fone (51) 3336-0422

CAPA / PLANEJAMENTO GRÁFICO / EDITORAÇÃO  
Carla M. Luzzatto e Fernando Piccinini Schmitt

Rega / Associação Brasileira de Recursos Hídricos. – Vol. 7,  
no. 2 (jul./dez. 2010) –  
Porto Alegre - ABRH/Brasil, 2009 –  
v.

#### Semestral

ISSN 1806-4051

1. Recursos hídricos. I. Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

CDU 556.18

#### PUBLICAÇÃO SEMESTRAL

*Pede-se permuta . We demand exchange. Se pide permuta.*

# Rega

**Rega** é uma revista proposta pelo GWP Global Water Partnership da América do Sul e conta com a parceria de várias entidades nacionais e regionais na área de recursos hídricos, entre elas: CEPAL, BID, Banco Mundial, ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, IARH - Instituto Argentino de Recursos Hídricos, RedeCap-Net Argentina, APRH - Asociación Paraguaya de Recursos Hídricos, Sociedade Brasileira de Limnologia, Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, Organização dos Estados Americanos e RIGA - Red de Investigación y Gestión Ambiental de la Cuenca del Plata.

Os objetivos da revista são de divulgar o conhecimento adquirido nas Américas sobre a Gestão Integrada de Recursos Hídricos. Considera-se importante a troca de informações entre os diferentes atores na área de recursos hídricos: técnicos, decisores de governo e instituições privadas, membros de comitê e agências de bacias, usuários de águas, etc.

Os principais aspectos enfatizados são os seguintes: - resultados comparativos e experiências sobre políticas públicas em recursos hídricos; - estudos sobre a cadeia produtiva dos diferentes setores de recursos hídricos; - gerenciamento integrado dos recursos hídricos dentro de uma visão interdisciplinar; - aspectos institucionais e de gestão de recursos hídricos e meio ambiente; - setores usuários da água e impactos sobre a sociedade.

**Rega** es una revista propuesta por la GWP-Global Water Partnership de América del Sur, y cuenta con el apoyo de varias entidades nacionales y regionales en el área de recursos hídricos, entre ellas: CEPAL, BID, Banco Mundial, ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, IARH - Instituto Argentino de Recursos Hídricos, Red Cap-Net Argentina, APRH - Asociación Paraguaya de Recursos Hídricos, Sociedade Brasileira de Limnologia, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Organización de los Estados Americanos y RIGA - Red de Investigación y Gestión Ambiental de la Cuenca del Plata.

El objetivo de la revista es divulgar el conocimiento adquirido en las Américas sobre la Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Se considera importante el intercambio de información entre los diferentes actores en el área de Recursos Hídricos: técnicos, tomadores de decisiones del gobierno y de instituciones privadas, miembros de comités y agencias de cuenca, usuarios de recursos hídricos, etc.

Los principales aspectos enfatizados son los siguientes: - resultados comparativos y experiencias sobre políticas públicas en recursos hídricos; - influencia económica de los recursos hídricos sobre las cadenas productivas; - gestión y gerenciamento integrado de recursos hídricos dentro de una visión interdisciplinaria; - aspectos institucionales y de gestión de recursos hídricos y medio ambiente; - sectores usuarios del agua e impactos sobre la sociedad.



# Rega

REVISTA DE GESTÃO DE ÁGUA  
DA AMÉRICA LATINA  
REVISTA DE GESTIÓN DEL AGUA  
DE AMERICA LATINA

**Vol.7 - N.2 - Jul./Dez. 2010**

Metodologia para avaliação de sistemas  
de infiltração de águas pluviais urbanas –  
fase de concepção / **5**

*Priscilla Macedo Moura,  
Sylvie Barraud e Márcio Benedito Baptista*

Presença de pesticidas em águas superficiais e  
subterrâneas na bacia do Itajaí, SC / **17**

*Adilson Pinheiro, Marcos Rivail da Silva  
e Raquel Kraisch*

A Política Estadual de Recursos Hídricos  
do Estado de São Paulo: condições  
para o seu surgimento e a sua implementação / **27**

*Maria Lucia G. Borba e Monica F. A. Porto*

Eficiência de sistemas de aproveitamento  
de águas pluviais em municípios  
do estado do Rio Grande do Sul/Brasil / **37**

*Vanessa Sari, Lília Mayumi Kaneda Seeger  
Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva  
e Ana Lúcia Denardin da Rosa*

Qualidade do escoamento na rede de drenagem  
pluvial urbana: a situação de Brasília-DF / **53**

*Nestor Aldo Campana e  
Ricardo Silveira Bernardes*

# Metodologia para avaliação de sistemas de infiltração de águas pluviais urbanas – fase de concepção

Priscilla Macedo Moura  
Sylvie Barraud  
Márcio Benedito Baptista

**RESUMO:** Os sistemas de infiltração são frequentemente utilizados como uma opção na gestão das águas pluviais urbanas. Esses sistemas reduzem as vazões e os volumes que chegam aos corpos receptores, reduzem a ocorrência de inundações e possibilitam a recarga da água subterrânea. Estas técnicas podem assumir diferentes configurações e formas, podendo ainda desempenhar múltiplos usos. Apesar dessas vantagens, a sustentabilidade desses sistemas a longo termo não é forçosamente assegurada e seu real desempenho deve ser obtido considerando vários aspectos, por vezes conflitantes. Um sistema de auxílio à decisão foi proposto, baseado no método multicritério ELECTRE III, com a finalidade de auxiliar na comparação de alternativas de projeto, em fase de concepção dos sistemas. Indicadores de desempenho foram propostos, integrando os aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais. Os critérios definidos para consideração foram risco de inundação, contribuição à recarga de aquíferos, poluição do solo, produção de resíduos sólidos, segurança dos usuários, baixo custo, boa aceitação social, multifuncionalidade e, finalmente, baixo uso de recursos naturais não renováveis. Um estudo de caso foi realizado a fim de validar a metodologia, que demonstrou baixa sensibilidade e grande robustez à variação de parâmetros do método.

**PALAVRAS-CHAVE:** análise multicritério, drenagem urbana, indicadores, sistemas de infiltração.

**ABSTRACT:** Infiltration systems are frequently used as an option to manage urban stormwater. By reducing flows and volumes in downstream sewers or in surface waters, they decrease the overflows and make it possible to recharge groundwater. Finally, they come in various forms and can play different uses. Despite these advantages their long term sustainability is not certain and their real performances have to be assessed taking into account various and sometimes conflicting aspects. To address this problem a decision support system was proposed, based on a multicriteria method (ELECTRE III) it aims to help at evaluating and comparing the performance of alternatives or different projects at the design stage. A list of performance indicators was proposed integrating technical, economical, environmental and social aspects. The performances defined were: Low flooding; low water resources pollution; positive contribution to groundwater recharge; low soil pollution; low waste production; aptitude to be safe for users and staff; low costs; good aptitude to be maintained; good social acceptance; ability to provide other functions; and finally, little use of raw materials. A case study was carried out to validate the methodology which demonstrates low sensitivity and high robustness to the variations in the method parameters.

**KEY WORDS:** multicriteria analysis, urban drainage, indicators, infiltration systems.

## INTRODUÇÃO

Os sistemas de infiltração de águas pluviais urbanas são frequentemente utilizados como uma opção para a gestão para a drenagem urbana. Essas técnicas apresentam importantes vantagens:

- reduzem as vazões de pico e os volumes nos condutos de jusante ou nos corpos receptores;
- limitam o fenômeno de lavagem das superfícies urbanas com conseqüente redução nas cargas

poluidoras, uma vez que drenam áreas mais próximas à fonte;

- favorecem a recarga de aquíferos através da infiltração;
- apresentam potencial de redução da carga poluente das águas pluviais por meio de decantação;
- possibilitam a urbanização de áreas distantes de corpos receptores, uma vez que as áreas podem ser drenadas exclusivamente por infiltração;

podem assumir múltiplas formas e diferentes usos, como quadras esportivas permeáveis ou pavimentos permeáveis.

Apesar dessas vantagens, a sustentabilidade, em termos ambientais e sócio-econômicos, desses sistemas a longo termo não é forçosamente garantida (Dechesne et al., 2004). Diversas questões surgem a partir da utilização dessas técnicas, relacionadas à eficiência desses sistemas na proteção contra inundações (considerando a evolução desses sistemas ao longo do tempo com o fenômeno da colmatção, por exemplo), a eficiência desses sistemas na proteção do meio ambiente e da saúde, o risco de poluição das águas subterrâneas, a gestão dos sedimentos retidos, aceitação social, custos (esse tipo de sistema é realmente mais econômico quando comparado aos sistemas tradicionais, como atualmente se acredita?).

Devido às razões aqui expostas, a avaliação de técnicas de infiltração é indispensável e a busca de um compromisso considerando suas múltiplas facetas é necessária.

Para lidar com esse problema um sistema de auxílio à decisão foi proposto, destinado a projetistas e gestores, tendo por objetivo auxiliar na avaliação e comparação de desempenho de alternativas ou de diferentes projetos na fase de concepção dos sistemas.

Para tanto foi proposto um conjunto de indicadores, integrando aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais. Esses indicadores são em seguida agregados, por um método multicritério, como será descrito nos próximos itens do presente trabalho.

## INDICADORES PROPOSTOS

Como expresso anteriormente, a fim de avaliar ou comparar estratégias de infiltração de um projeto, um jogo de indicadores de desempenho foi desenvolvido. O trabalho foi realizado com a participação de um grupo de trabalho multidisciplinar e o auxílio do grupo de pesquisa OTHU<sup>1</sup>, reunido para o desenvolvimento de um observatório *in situ* em hidrologia urbana localizado em Lyon, França. O grupo de trabalho, com composição bastante dinâmica durante a pesquisa, foi composto por pesquisadores de diferentes áreas (hidrologia, biologia, química, ambiental, hidrogeologia, ciências sociais e econômicas) e profissionais de empresas públicas e privadas (projetistas, e responsáveis pela gestão

de sistemas existentes). O observatório *in situ* foi utilizado na aquisição de informações e práticas provenientes de intensivo monitoramento, tendo sido de extrema utilidade na construção dos indicadores e nos testes dos métodos utilizados para a obtenção dos indicadores de desempenho. Os critérios, e os indicadores propostos relativos a cada critério, são apresentados a seguir.

### Critério 1: Proteção contra inundações

A avaliação do critério proteção contra inundação leva em consideração dois aspectos preponderantes: o nível de proteção considerado quando do dimensionamento do sistema e a vulnerabilidade da área sujeita a inundação durante um evento pluvial intenso.

#### *Indicador de frequência de dimensionamento*

$IC_{H1D1} = T_{dim}$  (Preferência crescente,  
faixa de variação:  $[0, +\infty[$ , anos) (1)

$T_{dim}$ : Tempo de retorno utilizado no dimensionamento (anos)

#### *Indicador de vulnerabilidade das superfícies atingidas*

O presente critério é definido de acordo com sete subindicadores, dependendo do tipo de uso do solo da área sujeita a inundação. O objetivo desse indicador é de verificar a vulnerabilidade das superfícies atingidas caso ocorra um evento de precipitação excepcional.

$IC_{H1D2T_{ipoi}} = V_{inuT_{ipoi}}$  (Preferência decrescente,  
faixa de variação:  $[0, +\infty[$ , m<sup>3</sup>) (2)

$V_{inuT_{ipoi}}$ : volume total de inundação na área de tipo  $i$ , segundo o tipo de ocupação do solo (m<sup>3</sup>), considerando um evento pluvial intenso (e.g. 50 anos de tempo de retorno)

Com a finalidade de se considerar a importância relativa de cada tipo de uso do solo, coeficientes de ponderação foram atribuídos para cada tipologia, devendo os mesmos ser utilizados no método multicritério a ser apresentado ulteriormente. A título de exemplo, considerou-se que uma inundação em uma área de parque é menos grave que uma inundação em uma área industrial de alto risco de poluição.

<sup>1</sup> <http://www.graie.org/othu/>

Para o estabelecimento dos pesos a serem considerados, o Método de Análise Hierárquica – AHP – (Saaty, 1977) foi utilizado. Ele foi aplicado por diferentes integrantes do grupo de trabalho, sendo que uma média dos valores encontrados deve ser utilizada. A Tabela 1 mostra as diferentes tipologias de uso do solo consideradas, bem como seus pesos e coeficientes de variação correspondentes. De forma geral os integrantes do grupo foram bastante coerentes em suas análises, entretanto diferenças de opinião entre eles foram constatadas.

**Critério 2: Reter a poluição no sistema  
(Não degradar a qualidade dos aquíferos /  
Não poluir o solo em profundidade)**

Do ponto de vista ambiental, o sistema de infiltração ideal é aquele que funciona como um filtro para a poluição, não deixando a poluição passar para camadas profundas do solo e atingir o lençol subterrâneo. A possibilidade de poluição nos aquíferos é um aspecto de grande importância, porém, após diversas tentativas, nenhuma formulação de indicador foi satisfatória para avaliá-lo individualmente, tendo-se optado pela formulação em conjunto com o aspecto retenção da poluição no solo. Quatro são os indicadores utilizados para avaliar esses aspectos, ligados à proteção do lençol subterrâneo, propriamente dita, à aptidão do solo a reter poluentes e às condições de pressão antrópica presentes na bacia.

*Indicador de proteção do lençol*

Uma vez que o solo funciona como filtro para as partículas em suspensão (nas quais a maior parte dos poluentes está aderida - Chebbo, 1992), quanto mais

espessa for a zona não saturada melhor é a retenção de poluentes.

$$IC_{PL1} = ZNS(\text{Preferência crescente,} \\ \text{faixa de variação: } ]0, +\infty[ \text{ , m}) \quad (3)$$

ZNS: espessura da zona não saturada sob o sistema de infiltração (m). Quando a zona possuir diversos sistemas de infiltração com espessuras de zonas não saturadas diferentes, deve ser utilizado o valor mais desfavorável, ou seja, a menor espessura de zona não saturada.

*Indicador de aptidão do solo a reter poluentes*

O pH é a principal característica do solo mais influencia na retenção de poluentes, conforme pode ser visto mais detalhadamente em Moura et al. (2009).

$$IC_{PL2} = pH \text{ se } pH \geq 5 \quad (4)$$

senão  $IC_{PL2} = 0$  (Preferência crescente,  
faixa de variação: 0 ou  $[5, 14]$ )

pH: mais baixo valor de pH encontrado no solo sob os sistemas de infiltração

$$IC_{PL3} = Vi \text{ se } 10^{-6} \leq Vi \leq 10^{-4} \text{ m/s} \quad (5)$$

senão  $IC_{PL3} = 1$  (Preferência decrescente,  
faixa de variação  $[10^{-6}, 10^{-4}]$  ou 1, adimensional)

Vi: maior condutividade hidráulica saturada encontrada no solo sob o sistema de infiltração (m/s)

**TABELA 1**  
**Tipologias de uso do solo consideradas**

| Tipo i | Uso do solo              | Coefficiente de ponderação | Coefficiente de variação (%) |
|--------|--------------------------|----------------------------|------------------------------|
| PAR    | Parques e jardins        | 0,033                      | 21,6                         |
| EST    | Estacionamento           | 0,033                      | 19,1                         |
| VIA    | Vias de tráfego          | 0,056                      | 48,9                         |
| IBR    | Indústria de baixo risco | 0,095                      | 38,3                         |
| RES    | Área residencial         | 0,196                      | 25,6                         |
| IAR    | Indústria de alto risco  | 0,264                      | 6,8                          |
| EQU    | Equipamentos públicos    | 0,323                      | 13,7                         |

*Indicador de pressão antrópica*

O indicador proposto leva em consideração a pressão urbana, em termos de poluição. Esse indicador integra a área de drenagem contribuinte ao sistema, o tipo de ocupação do solo e a existência ou não de um sistema de pré-tratamento.

$$IC_{PR} = \text{Max}_i \left( \frac{Sa_i}{Sinf_i} \times F_i \times F_j \right) \quad (6)$$

(Preferência decrescente,

faixa de variação:  $[0, +\infty[$ , adimensional)

Para cada área  $i$  drenada por um sistema de infiltração,  $Sa_i$ : superfície drenada ( $m^2$ ),  $Sinf_i$ : superfície de infiltração ( $m^2$ ),  $F_i$ : fator segundo o tipo de uso do solo (Tabela 2),  $F_j$ : fator que considera a existência ou não de sistema de pré-tratamento (Tabela 3).

O fator de uso do solo foi definido utilizando a mesma metodologia (AHP) para definição dos coeficientes de vulnerabilidade no indicador de vulnerabilidade das superfícies atingidas pela inundação,

explicitada anteriormente. Os tipos de uso do solo foram definidos segundo o potencial de poluição que a lavagem de cada tipo superfície pode gerar.

O fator  $F_j$  recebe o valor 1 se um sistema de pré-tratamento existe. Caso não exista sistema de pré-tratamento um coeficiente com a finalidade de penalização deve ser aplicado. Esses coeficientes foram obtidos por meio de consenso entre alguns integrantes do grupo de trabalho (ver os valores para  $F_j$  na Tabela 3).

**Critério 3: Contribuição à recarga de aquíferos**

Apenas um indicador, concernente a este critério, foi aqui proposto. Caso haja risco de contaminação das águas subterrâneas, a recarga dos aquíferos deve ser desencorajada e o indicador deve receber valor 0. Além disso, caso pelo menos uma das condições relativas ao critério “Reter a poluição no sistema” não for satisfeita, isto é  $IC_{PL1} < 2m$  ou  $IC_{PL2} = 0$  ou  $IC_{PL3} = 1$  então o indicador também deve receber o valor 0. Caso essas situações não sejam observadas, o indicador deve ser calculado segundo a formulação a seguir:

**TABELA 2**  
**Fator (Fi) segundo o tipo de uso do solo quanto à lavagem**

| Uso do solo              | Fator de ponderação | Coefficiente de variação (%) |
|--------------------------|---------------------|------------------------------|
| Ciclovía, passeios, etc. | 0,05                | 1,3                          |
| Áreas residenciais       | 0,11                | 6,7                          |
| Áreas industriais        | 0,50                | 13,1                         |
| Vias de tráfego          | 0,34                | 14,4                         |

**TABELA 3**  
**Fatores relativos à existência ou não de sistema de pré-tratamento (Fj)**

| Indicadores de retenção da poluição no sistema                                                                        | Uso do solo quanto ao potencial de pré-tratamento |                    |                   |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------|-------------------|-----------------|
|                                                                                                                       | Ciclovía, passeios, etc.                          | Áreas residenciais | Áreas industriais | Vias de tráfego |
| Se nenhuma ou somente uma das seguintes condições for observada:<br>$IC_{PL1} < 2m$ ; $IC_{PL2} = 0$ ; $IC_{PL3} = 1$ | 1                                                 | 1                  | 1,5               | 1,5             |
| Se não                                                                                                                | 1                                                 | 1,5                | 1,5               | 1,5             |

$$IC_{REC} = \frac{S_{di}}{S_{dt}} \quad \begin{array}{l} \text{(Preferência crescente,} \\ \text{faixa de variação: [0, 1],} \\ \text{adimensional)} \end{array} \quad (7)$$

$S_{di}$ : superfície drenada por infiltração ( $m^2$ )

$S_{dt}$ : superfície total da área em estudo ( $m^2$ )

#### Critério 4: Utilização de recursos naturais

Esse critério, ligado ao conceito de sustentabilidade, representa a quantidade de energia consumida para a construção e gestão do sistema. O consumo de energia inclui o consumo das máquinas, veículos e materiais utilizados na construção. Os coeficientes utilizados para cada tipo de consumo foram obtidos com o intuito de converter todas as unidades em equivalente habitante. Esse método propicia uma melhor compreensão do que em termos de energia primária equivalente. As relações entre energia/material e toneladas equivalentes de petróleo foram obtidas a partir de dados da literatura (Jansen *et al.*, 1990; Ballant, 2007). A conversão da energia consumida em equivalente habitante é dada pela divisão da energia total e material consumido pela energia consumida por 100.000 habitantes no Brasil (MME, 2005). O cálculo do indicador passa pelos quatro passos seguintes, relativos a quatro subindicadores. Todos os subindicadores e o indicador final têm como unidades a energia consumida por 100.000 habitantes – Energia Eq. x  $10^5$ .

##### Energia consumida relativa à escavação

$$IC_{RNexc} = 1,07 V_{exc} \quad \begin{array}{l} \text{(Preferência decrescente,} \\ \text{faixa de variação: } [0, +\infty[ \text{, Energia Eq. x } 10^5) \end{array} \quad (8)$$

$V_{exc}$ : volume de solo escavado durante a construção ( $m^3$ )

##### Energia consumida relativa à matéria prima utilizada

$$IC_{RNmat} = 104,23 Q_{geo} + 963,64 V_{bet} + q_i V_{cond} \quad \begin{array}{l} \text{(Preferência decrescente, faixa de variação:} \\ [0, +\infty[ \text{, Energia Eq. x } 10^5) \end{array} \quad (9)$$

$Q_{geo}$ : quantidade de geotêxtil utilizada ( $m^2$ ),

$V_{bet}$ : volume de concreto ( $m^3$ ),  $V_{cond}$ : volume da matéria prima das tubulações utilizadas ( $m^3$ ),  $q_i$ : coeficiente, em energia equivalente, segundo o tipo de material das tubulações (Tabela 4).

TABELA 4

Valores de  $q_i$  segundo o tipo de material das tubulações

| Material das tubulações | Coefficiente $q_i$ |
|-------------------------|--------------------|
| Cerâmica                | 31 255             |
| PVC                     | 586 026            |
| Concreto                | 39 068             |

##### Energia consumida relativa ao transporte

$$IC_{RNtransp} = 1,47 V_{exc} D_{exc} + 1,13 V_{mr} D_{mr} \quad \begin{array}{l} \text{(Preferência decrescente, faixa de variação:} \\ [0, +\infty[ \text{, Energia Eq. x } 10^5) \end{array} \quad (10)$$

$V_{exc}$ : volume escavado ( $m^3$ ),  $D_{exc}$ : distância para a evacuação do material escavado (km),  $V_{mr}$ : volume do material para preenchimento do sistema, caso necessário ( $m^3$ ),  $D_{mr}$ : distância de entrega do material de preenchimento (km)

##### Energia consumida relativa à operação do sistema

$$IC_{RNman} = 9,76 T_{bom} P_{bom} + 89,09 D_{sed} \quad \begin{array}{l} \text{(Preferência decrescente, faixa de variação:} \\ [0, +\infty[ \text{, Energia Eq. x } 10^5) \end{array} \quad (11)$$

$T_{bom}$ : tempo estimado de funcionamento das bombas por ano (h),  $P_{bom}$ : potência do motor das bombas (kW),  $D_{sed}$ : distância para evacuação dos sedimentos retidos no sistema (km)

##### O indicador global é obtido como:

$$IC_{RN} = IC_{RNexc} + IC_{RNmat} + IC_{RNtransp} + IC_{RNmain} \quad \begin{array}{l} \text{(Preferência decrescente, faixa de variação:} \\ [0, +\infty[ \text{, Energia Eq. x } 10^5) \end{array} \quad (12)$$

#### Critério 5: Facilidade de manutenção e gestão

Esse critério ( $IC_{MAN}$ ) é avaliado segundo uma nota atribuída a cada tipo de sistema de infiltração, de acordo com sua facilidade de manutenção. Essas notas podem ser específicas de cada gestor.

Para obter as notas, o gestor dos sistemas deve ordenar os diferentes tipos de sistemas do mais fácil a ser mantido ao sistema de mais difícil manutenção. A nota 1 deve ser dada ao sistema de manutenção mais fácil e os demais sistemas recebem notas superiores, de acordo com sua facilidade de manutenção sendo a nota máxima equivalente ao número total de sistemas em análise. Dois tipos de sistemas que

exijam o mesmo esforço de manutenção devem obter notas iguais (Preferência decrescente faixa de variação de  $[1, +\infty[$ ).

### **Critério 6: Garantia da segurança dos usuários e trabalhadores**

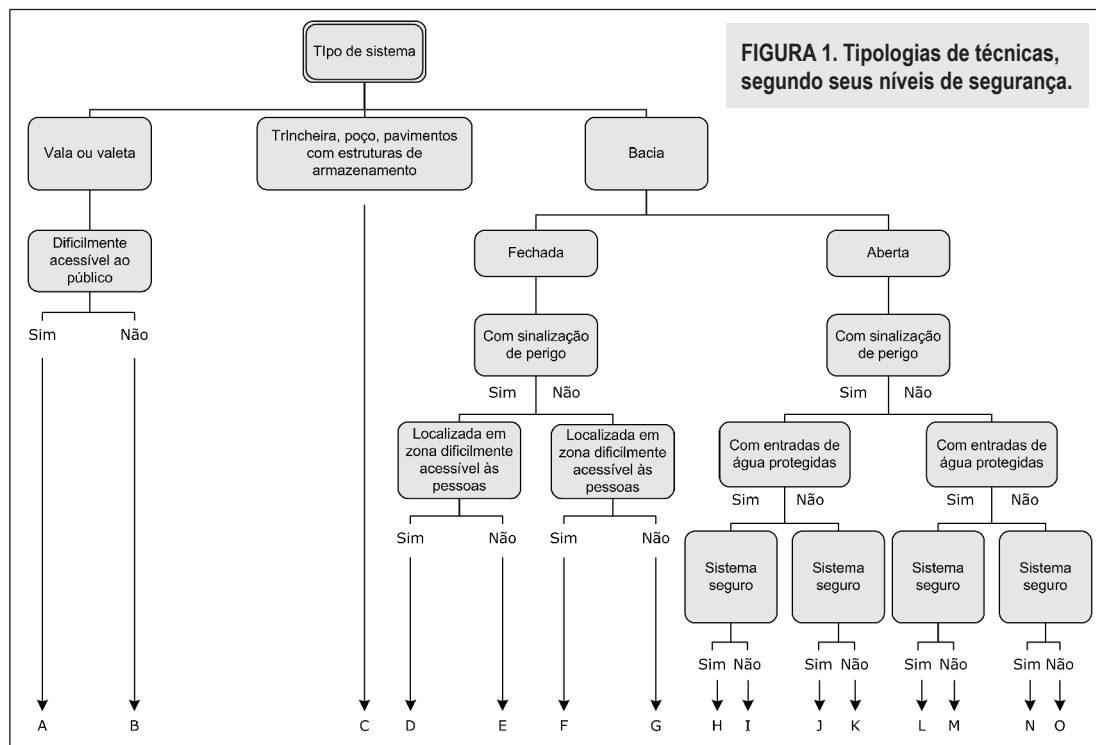
A fim de avaliar esse critério ( $IC_s$ ), notas foram definidas por comparação, dois a dois, os diferentes tipos de sistemas de infiltração, apresentando diferentes níveis de segurança. As várias situações possíveis são apresentadas na Figura 1. As situações apresentadas levaram em consideração:

- ▣ Os principais tipos de técnicas: as valas ou valetas, trincheiras, poços e as bacias;
- ▣ Os tipos de acesso aos sistemas (sistema aberto ou não, facilmente ou dificilmente acessível...);
- ▣ Os meios de garantia de segurança previstos, principalmente para as bacias: presença de sinalização sobre a presença de água quando

de eventos pluviais. A ausência desse tipo de sinalização pode ser menos problemática, segundo a localização da bacia, caso a bacia se encontre em local facilmente acessível às pessoas o risco será maior;

- ▣ Segurança operacional do sistema: facilidade de evacuação do sistema – margens com declividade suave, presença de escadas, rampas permitindo uma saída rápida do sistema – presença de dispositivos de segurança em torno das bacias com margens de declividade forte;
- ▣ Dispositivos de proteção das entradas e saídas de água (grades que impeçam a entrada de pessoas nas tubulações de entrada e saída de água, entrada de água distribuída, reduzindo a velocidade de entrada de água).

As notas foram então atribuídas através do mesmo sistema adotado para a definição da facilidade de manutenção e gestão. As notas finais a serem aplicadas são apresentadas na Tabela 5.



**Tabela 5**  
Notas segundo a segurança para cada tipo de sistema –  
coeficiente de variação médio

| Tipo de sistema | Ic <sub>s</sub> | Cv (%) |
|-----------------|-----------------|--------|
| A               | 2,8             | 46,9   |
| B               | 5,4             | 46,1   |
| C               | 1,0             | 0,0    |
| D               | 3,7             | 37,3   |
| E               | 6,7             | 43,6   |
| F               | 4,8             | 40,2   |
| G               | 8,1             | 39,6   |
| H               | 6,3             | 29,8   |
| I               | 10,8            | 12,6   |
| J               | 10,7            | 18,2   |
| K               | 13,7            | 4,4    |
| L               | 8,3             | 23,9   |
| M               | 11,8            | 10,6   |
| N               | 11,0            | 18,4   |
| O               | 14,9            | 1,4    |

#### CrITÉrio 7: Produção de resíduos sólidos

Esse critério é avaliado por meio da correlação entre o volume de resíduos gerados e a área de contribuição (Saget, 1994), e a qualidade do sedimento gerado a partir da extensão de escoamento superficial, também assimilada como proporcional a área de drenagem.

$$IC_{RS} = \frac{\sum Sa_i}{n} \quad (\text{Preferência decrescente,} \\ \text{faixa de variação: } ]0, +\infty[ ) \quad (13)$$

Sa<sub>i</sub>: área de contribuição para o sistema *i* (m<sup>2</sup>);  
n: número total de sistemas na área em estudo.

A média das superfícies de contribuição serve como indicativo de superfícies de contribuição menores, apesar de que sistemas com áreas de contribuição pequenas possam compensar a existência de sistemas com grandes áreas de contribuição, para uma mesma alternativa de projeto, acredita-se que os resultados na comparação de alternativas de projeto tendam a favorecer as alternativas que melhor atendam a esse critério.

Dessa forma, quanto mais próxima à fonte se localiza o dispositivo a ser implantado, ou seja, quanto mais sistemas distribuídos em uma dada bacia de drenagem, melhor é o arranjo do projeto.

#### CrITÉrio 8: Custo

O presente critério é avaliado por meio de dois indicadores: o primeiro relacionado aos custos de construção e o segundo relacionado aos custos de manutenção e operação dos sistemas.

$$IC_{CUST1} = Ci + Ce \quad (\text{Preferência decrescente,} \\ \text{faixa de variação: } [0, +\infty[ ) \quad (14)$$

Ci: custos de investimentos (incluindo custo do terreno) (reais), Ce: custos dos estudos preliminares (reais), como o custo dos testes de permeabilidade, por exemplo

$$IC_{CUST2} = C_m \quad (\text{Preferência decrescente,} \\ \text{faixa de variação: } [0, +\infty[ ) \quad (15)$$

C<sub>m</sub>: custo total de operação e manutenção ao longo da vida útil do sistema, ou ao longo de um período escolhido para a análise (reais)

#### CrITÉrio 9: Qualidade do projeto (multifuncionalidade)

Esse indicador é utilizado para descrever a capacidade do sistema em desempenhar outras funções, segundo a expectativa dos habitantes do entorno da área em estudo. A Tabela 6 mostra os possíveis valores do indicador de acordo com as características do sistema. Os valores foram obtidos por meio de um método, que obedece limites de indiferença e preferência, com base nos limites de indiferença, preferência fraca e preferência estrita propostos por Roy (1978). Para a obtenção das notas para cada uma das outras funções do sistema foi escolhido o valor inferior ou igual a 1 para indiferença (I), maior que 1 e inferior ou igual a 2 para preferência fraca (Q) e maior que 2 para preferência estrita (P). Os níveis de preferência definidos por alguns participantes do grupo de trabalho são mostrados na Tabela 6, onde I indica indiferença, Q indica preferência fraca e P indica preferência estrita. A partir desses níveis de preferência calcula-se os valores das notas, tendo-se adotado a menor nota como 1.

TABELA 6

Valores segundo as características dos sistemas

| Outras funções do sistema                                                  | IC <sub>QUAL</sub> |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Atende às expectativas dos usuários                                        | 5                  |
| Não atende às expectativas dos usuários, mas tem características positivas | 4                  |
| As outras funções não têm nenhuma importância                              | 3                  |
| Não atende às expectativas dos usuários                                    | 1                  |

12

## AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS INDICADORES

A qualidade da metodologia de auxílio à decisão depende da qualidade individual de cada indicador, da qualidade do jogo de indicadores, e, finalmente, da qualidade do método multicritério escolhido para seleção, classificação ou ordenação das alternativas.

Para a avaliação da qualidade individual dos indicadores, encontram-se na literatura duas diferentes abordagens (Kastner, 2003). A primeira delas é baseada na verificação de uma série de qualidades gerais definidas *a priori* (Labouze & Labouze, 1995; Bellagio, 1996; Pastille, 2002). A segunda abordagem consiste em uma análise dos erros observados durante a aplicação dos indicadores (Perrin, 1998).

Considerando-se as ideias principais dos citados autores, a qualidade dos indicadores deve ser avaliada segundo os aspectos a seguir.

- Acessibilidade: disponibilidade de dados ou capacidade de obtenção de dados a um custo aceitável, e facilidade de cálculo do indicador;
- Objetividade: resultados com uma mesma tendência, ainda que o indicador seja avaliado por diferentes decisores;
- Ausência de ambiguidade: diferentes decisores avaliam os indicadores da mesma maneira;
- Relevância do aspecto considerado;
- Robustez: estabilidade dos resultados frente a variações nos valores dos indicadores segundo as incertezas dos dados utilizados;
- Sensibilidade: capacidade dos indicadores em discriminar diferentes alternativas;
- Fidelidade: capacidade dos indicadores a serem calculados de forma unívoca ou com um viés constante.

Para que haja um jogo de indicadores de qualidade, o número de indicadores considerado na análise é importante. Na verdade, o jogo de indicadores deve ser exaustivo, mas seu número não deve ser excessivo, uma vez que um grande número de indicadores a considerar na análise pode trazer dificuldades na aplicação da metodologia. Além disso, a independência ou redundância há de ser avaliada.

Cada um dos indicadores propostos possui sua própria avaliação de qualidade, realizada por meio da aplicação dos indicadores a diversas alternativas de projetos, por diferentes decisores. Os indicadores propostos foram testados dessa forma e apresentaram resultados satisfatórios; alguns deles possuem incertezas elevadas, porém essas incertezas podem ser facilmente estimadas e consideradas compatíveis com os limites de indiferença e de preferência do método multicritério. Os testes realizados foram longos, sendo detalhadamente descritos em Moura (2008).

## ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Um método multicritério é utilizado para agregar os indicadores já apresentados. Abordagens multicritério apresentam a vantagem da possibilidade de consideração de todos os aspectos considerados importantes na análise (Roy, 1996; Vincke, 1992), sendo que sua utilização tem crescido na ordenação de alternativas em drenagem urbana, como por exemplo, em Barraud et al. (1998), Ellis et al. (2004) e Castro & Baptista (2004). No caso presente, a abordagem multicritério foi escolhida basicamente por duas razões. A primeira delas é relacionada ao fato de que os aspectos a serem avaliados são bastante heterogêneos. Alguns critérios são avaliados por meio de modelagem numérica, outros são qualitativos. Alguns indicadores são bastante confiáveis, outros possuem grandes faixas de incerteza. A segunda razão é que uma abordagem multicritério não necessita de agregação *a priori*, não havendo consequentemente nenhum efeito de compensação entre indicadores, além da possibilidade que o decisor tem de controlar e acompanhar a evolução de aspectos críticos de uma alternativa de projeto.

Para o tipo de indicadores aqui propostos, métodos multicritério baseados em agregação parcial são os mais adequados, devido ao grande número de indicadores e a possibilidade de se levar em consideração as incertezas de cada um deles. O método ELECTRE III é um método desse tipo. Ele foi proposto por Roy (1978) e se baseia na consideração da natureza difusa

(imprecisa e incerta) dos indicadores, considerando explicitamente a indiferença, preferência e veto, através de limites. O ELECTRE III começa com um conjunto finito de aspectos (critérios) a serem considerados, avaliados por um conjunto de indicadores e subindicadores e agrega as preferências parciais das alternativas através de uma relação de ordenamento difusa. Para isso, as alternativas são comparadas em pares, através de cada um dos seus indicadores, que podem por essa razão terem sua escala própria. Os pesos dos indicadores refletem a importância relativa de cada um deles, e no método ELECTRE III são esses pesos que são agregados. A relação entre as duas alternativas comparadas é dada de acordo com dois tipos de índices. Esses índices medem a credibilidade da afirmação “a alternativa *i* supera a alternativa *k*”. A credibilidade será tanto maior quanto maior o número de critérios da alternativa *i* que forem melhores que aqueles da alternativa *k* (índice de concordância) e, para os critérios cuja alternativa *i* é pior do que a alternativa *k*, as diferenças entre esses não são significantes (índices de discordância). Dois pré-ordenamentos são então obtidos através de um procedimento de destilação; o primeiro, descendente, classifica da melhor alternativa para a pior e, o segundo, ascendente, que classifica da pior alternativa para a melhor. A interseção entre essas pré-ordens dá origem à ordenação final.

## ESTUDO DE CASO

Com a finalidade de avaliar e testar a metodologia proposta, esta foi aplicada a um estudo de caso. Ele se refere a uma área residencial localizada no sudeste da França, escolhida devido à variedade de alternativas de drenagem estudadas. Para todas as alternativas, a totalidade das áreas era drenada por técnicas de infiltração. Os cenários estudados são os seguintes:

-  Cenário 1: denominado “Solução por poços e trincheiras”: as vias de circulação de veículos automotores eram drenadas por trincheiras e as residências por poços de infiltração;
-  Cenário 2 denominado “Solução por poços”: a área é totalmente drenada por poços de infiltração;
-  Cenário 3 denominado “Solução por bacia de infiltração”: a totalidade da área sendo drenada por uma bacia de retenção/infiltração, localizada em um parque à jusante.

A avaliação dos indicadores é mostrada na Tabela 7, sendo que o valor da condutividade hidráulica

saturada, utilizada no cálculo do  $IC_{PL3}$  não estava disponível, esse indicador então foi excluído da análise.

## PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS

O peso de cada critério representa sua importância relativa, entre os diversos critérios atribuídos pelo decisor, para cada situação específica. Os pesos utilizados no presente estudo de caso são apresentados na Tabela 8, onde também são listados limites inerentes à metodologia, descritos ulteriormente.

Para os indicadores calculados por meio de expressões matemáticas os limites são expressos em porcentagem do valor calculado e para os indicadores qualitativos os limites são expressos em valores globais. Nota-se que para os subindicadores de proteção do lençol 3 e de pressão antrópica apresentam altos valores para os limites. Os valores dos limites foram obtidos por meio da propagação das incertezas, quanto ao subindicador  $IC_{PL3}$  devido à alta variabilidade espacial das medidas da condutividade hidráulica saturada e quanto ao subindicador  $IC_{PR}$ , devido aos grandes coeficientes de variação dos valores do fator  $F_i$ .

Conforme expresso anteriormente, o método Electre III pressupõe três limites a serem associados a cada critério. O primeiro deles é o limite de indiferença por meio do qual o decisor demonstra de forma clara a indiferença no indicador. O segundo limite é o de preferência, valor acima do qual o decisor tem certeza de uma preferência estrita. Entre os dois limites, há a situação de preferência fraca, indicando que o decisor hesita entre a indiferença e a preferência estrita. E, finalmente, o limite de veto (que não é compulsório), que representa a diferença máxima aceitável entre duas alternativas a serem comparadas, para um dado critério. No presente estudo, para alguns indicadores as incertezas no cálculo do indicador foram utilizadas para o estabelecimento desse limite. Além disto, nenhum limite de veto foi identificado para os critérios utilizados no presente trabalho.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme o método adotado, Electre III, o resultado final da análise não se prende ao cálculo de um índice global, mas sim ao ordenamento das soluções. Assim, no estudo de caso específico, o resultado obtido é mostrado na Figura 2, onde se constata que dentre as alternativas estudadas, a solução por

**TABELA 7**  
**Pesos, limites de indiferença (LI), limites de preferência (LP) para cada um dos indicadores**

| <b>Indicadores</b>                                      | <b>Alternativa 1<br/>(poços+ trincheiras)</b> | <b>Alternativa 2<br/>(Bacia de infiltração)</b> | <b>Alternativa 3 (Poços)</b> |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------|
| IC <sub>HID1</sub> (anos)                               | 10                                            | 20                                              | 10                           |
| IC <sub>HID2VIA</sub> (m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>  | 49                                            | 0                                               | 30                           |
| IC <sub>HID2EST</sub> (m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>  | 0                                             | 0                                               | 0                            |
| IC <sub>HID2RES</sub> (m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>  | 1                                             | 0                                               | 20                           |
| IC <sub>HID2PARC</sub> (m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup> | 0                                             | 0                                               | 0                            |
| IC <sub>HID2IAR</sub> (m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>  | 0                                             | 0                                               | 0                            |
| IC <sub>HID2IBR</sub> (m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>  | 0                                             | 0                                               | 0                            |
| IC <sub>HID2EQU</sub> (m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>  | 0                                             | 0                                               | 0                            |
| IC <sub>PL1</sub> (m)                                   | 1                                             | 1                                               | 1                            |
| IC <sub>PL3</sub> (m/s)                                 | 1                                             | 1                                               | 1                            |
| IC <sub>PR</sub> (Adim.)                                | 10,64                                         | 110,06                                          | 11,16                        |
| IC <sub>REC</sub> (Adim.)                               | 1,00                                          | 1,00                                            | 1,00                         |
| IC <sub>RN</sub> (Eq. Habitante × 10 <sup>5</sup> )     | 171 096                                       | 213 360                                         | 468 552                      |
| IC <sub>MAN</sub> (Adim.)                               | 2                                             | 4                                               | 1                            |
| IC <sub>S</sub> (Adim.)                                 | 1,00                                          | 10,80                                           | 1,00                         |
| IC <sub>RS</sub> (m <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>       | 348,67                                        | 13 662,80                                       | 116,44                       |
| IC <sub>COST1</sub> (R\$)                               | 419 966,82                                    | 1 748 418,59                                    | 312 530,40                   |
| IC <sub>COST2</sub> (R\$) <sup>(2)</sup>                | 235 557,62                                    | 1 883 075,96                                    | 40 392,10                    |
| IC <sub>QUAL</sub> (Adim.)                              | 4                                             | 4                                               | 4                            |

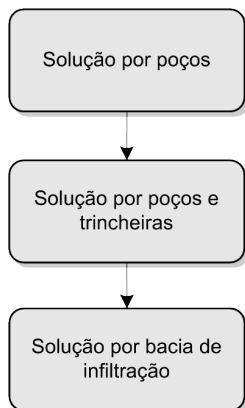
<sup>(1)</sup> Indicadores estimados com um período de retorno de 50 anos

<sup>(2)</sup> Indicador calculado segundo os custos da bibliografia (Moura, 2004)

**TABELA 8**  
**Pesos, limites de indiferença (LI), limites de preferência (LP) para cada um dos indicadores.**

| <b>Indicadores</b>     | <b>Pesos</b> | <b>LI</b> | <b>LP</b> |
|------------------------|--------------|-----------|-----------|
| IC <sub>HID1</sub>     | 4,6          | 0         | 2         |
| IC <sub>HID2VIA</sub>  | 0,2          | 20%       | 50%       |
| IC <sub>HID2EST</sub>  | 0,2          | 20%       | 50%       |
| IC <sub>HID2RES</sub>  | 0,7          | 20%       | 50%       |
| IC <sub>HID2PARC</sub> | 0,2          | 20%       | 50%       |
| IC <sub>HID2IAR</sub>  | 1,4          | 20%       | 50%       |
| IC <sub>HID2IBR</sub>  | 0,7          | 20%       | 50%       |
| IC <sub>HID2EQU</sub>  | 1,4          | 20%       | 50%       |
| IC <sub>PL1</sub>      | 4,5          | 0,5       | 0,5       |
| IC <sub>PL2</sub>      | 4,5          | 0,58      | 1         |
| IC <sub>PL3</sub>      | 4,5          | 500%      | 1000%     |
| IC <sub>PR</sub>       | 4,5          | 467%      | 467%      |
| IC <sub>REC</sub>      | 4,5          | 4,95%     | 4,95%     |
| IC <sub>RN</sub>       | 4,5          | 0,001     | 10%       |
| IC <sub>MAN</sub>      | 7,9          | 1         | 2         |
| IC <sub>S</sub>        | 7,9          | 1,6       | 3,2       |
| IC <sub>RS</sub>       | 7,9          | 2,52%     | 5%        |
| IC <sub>CUST1</sub>    | 16           | 0,1       | 0,2       |
| IC <sub>CUST2</sub>    | 16           | 0,2       | 0,3       |
| IC <sub>QUAL</sub>     | 7,9          | 1         | 2         |

poços ficou em primeiro lugar e a solução por bacia de infiltração em último. A mesma ordenação foi obtida nas pré-ordens ascendente e descendente, como descrito anteriormente.



**Figura 2. Resultados do ELECTRE III, ordenamento final**

Análises de sensibilidade e robustez foram realizadas por meio de variações nos pesos dos indicadores e nos limites de indiferença e de preferência. A solução de base não sofreu alterações, porém, em certas simulações a solução por poços e trincheiras obteve o primeiro *ranking*, empatada com a solução por poços. Em todas as simulações a solução por bacia de infiltração foi classificada em última

posição, indicando uma preferência por soluções de controle na fonte.

## CONCLUSÕES

O presente artigo apresentou uma metodologia para o auxílio à decisão na avaliação e comparação de alternativas de projetos de drenagem, utilizando sistemas de infiltração, na fase de concepção.

A metodologia proposta fundou-se em um conjunto de 20 indicadores construídos a partir de nove critérios, consolidados por um grupo de especialistas, de diferentes áreas de atuação. Para agregação dos resultados adota-se o método Electre III.

A metodologia assim estabelecida foi aplicada a um estudo de caso relativo a uma área residencial com três alternativas de projeto. O cálculo dos indicadores e sua posterior agregação permitiram a ordenação das alternativas que apontou a solução por poços como sendo a de melhor desempenho. A metodologia proposta foi validada por meio de análises de sensibilidade e robustez, que evidenciaram a estabilidade dos resultados obtidos.

Desta forma, acredita-se que a metodologia proposta apresenta potencial de utilização em outras situações, tendo em vista sua flexibilidade para diferentes condições locais e de alternativas de solução.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Région Rhône Alpes, à CAPES, ao CNPq e à FAPEMIG pelo financiamento à presente pesquisa.

## Referências

- Barraud, S., Azzout, Y., Crès, F.N. (1998). Méthodologie d'aide à la décision pour la conception et la sélection de techniques alternatives en assainissement pluvial. *Journal of Decision Systems*; 7, 69 - 86.
- Ballant, J.-L. (2007). Le changement climatique : Inventaire des actions à mener pour lutter contre le réchauffement du climat. 8ème édition. 87p. <<http://www.planete1sugg.net/doc/planete1sugg-ed08maj.pdf>>, consulted in 28 Jan 2008.
- Bellagio (1996). Bellagio Principles: Guidelines for the Practical Assessment of Progress Towards Sustainable Development. Winnipeg, Manitoba, Canada: International Institute for Sustainable Development, (disponível em <http://iisd1.iisd.ca/measure/bellagio1.htm>).
- Castro, L. M. A.; Baptista, M. B. (2004). Indicators proposition for urban drainage systems evaluation in developing countries. *Novatech 2004*. Vol. 2., 1333 - 1340. Lyon, France.
- CHEBBO G. (1992) Solides des rejets pluviaux urbains caractérisation et traitabilité. Thèse de Doctorat. Paris : Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 413 p + anexos.
- Dechesne M., Barraud S., Bardin J.P. (2004) Indicators for hydraulic and pollution retention assessment of stormwater infiltration basins. *Journal of Environmental Management*, 71(4), 371 - 380.
- Ellis J.B., Deutsch J.-C., Mouchel J.-M., Scholes L., Revitt M.D (2004). Multicriteria decision approaches to support sustainable drainage options for the treatment of highway and urban runoff. *Science of the total Environment*, 334-335.,251 – 260.

- Jansen, R.; Koster, M.; Strijveen, B. (1990). Milieuvriendelijk verpakken in de toekomst: een Cenário voor 2001. Amsterdam: Vereniging Milieudefensie, 121 p.
- Kastner, A. (2003). Etude critique d'un jeu d'indicateurs pour l'évaluation des techniques alternatives d'infiltration des eaux pluviales. DEA Génie Civil - URG - INSA de Lyon, France, 116 p.
- Labouze, E., Labouze, R. (1995). La comptabilité de l'Environnement. Revue Française de Comptabilité, Paris : Éd. Expert Comptable Mensuel Média, 272, 1995, 92 p.
- MINISTERIO DAS MINAS E ENERGIA. Balanço energético nacional: ano base 2004. Relatório Final. Rio de Janeiro: EPE, 2005, 188 p.
- Moura, P. M. (2004). Avaliação global de sistemas de drenagem urbana. Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte: Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 146 f.
- Moura P. (2008) Méthode d'évaluation des performances des systèmes d'infiltration des eaux de ruissellement en milieu urbain. PhD Thesis. INSA – Lyon, France.
- Moura P.; Barraud, S.; Baptista, M.B. (2009). O funcionamento dos sistemas de infiltração de águas pluviais urbanas. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande.
- Promoting Action for Sustainability Through Indicators at the Local Level in Europe - PASTILLE (2002). Indicators into Action: a practitioners guide for improving their use at the local level. European Union FP5 report, 35 p.
- Perrin, B. (1998), Effective Use and Misuse of Performance Measurement. American Journal of Program Evaluation, 19 (3), 367-379.
- Roy B. (1996). Multicriteria methodology for decision aiding, Dordrecht (The Netherlands): Kluwer Academic Publishers, 292 p.
- Roy, B. (1978). ELECTRE III: Un algorithme de rangement fondé sur une représentation floue de préférences en présence de critères multiples. Cahiers du Centre d'Études de recherche opérationnelle, 20, 3-24.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of mathematical psychology, 15(3): 234-281.
- Saget A. (1994). Base de données sur la qualité des rejets urbains de temps de pluie : distribution de la pollution rejetée, dimensions des ouvrages d'interception. Thèse de l'école nationale des ponts et chaussées, 227p.
- Vincke P. (1992). Muticriteria decision-aid. Chichester (England): John Wiley & Sons, 154 p.

**Priscilla Macedo Moura** Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos – Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: priscilla.moura@ehr.ufmg.br

**Sylvie Barraud** Université de Lyon, INSA-Lyon. E-mail: sylvie.barraud@insa-lyon.fr

**Márcio Benedito Baptista** Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos – Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: marcio.baptista@ehr.ufmg.br

# Presença de pesticidas em águas superficiais e subterrâneas na bacia do Itajaí, SC

Adilson Pinheiro  
Marcos Rivail da Silva  
Raquel Kraisch

**RESUMO:** Pesticidas são usados na agricultura para aumento da produtividade, podendo provocar a degradação das águas superficiais e/ou subterrâneas. Neste trabalho foram detectados e quantificados pesticidas em águas superficiais e subterrâneas na bacia do rio Itajaí. Foram realizadas coletas de amostras de água de 7 pontos em rios e de 7 pontos em poços. Em uma primeira etapa, foram analisados herbicidas usados na rizicultura - 2,4-D, metsulfurom-metilico, pirazossulfurom-etílico e quincloraque. Posteriormente, foram determinadas as concentrações dos herbicidas 2,4-D, alacloro, atrazina e diuron, dos fungicidas azoxistrobina, metalaxyl, metconazol e tebuconazol e, do inseticida lambda-cialotrina. A frequência e as concentrações variam para os pesticidas. Verificou-se que os herbicidas são detectados com baixa frequência em águas superficiais e subterrâneas. Por outro lado, os fungicidas metconazol e tebuconazol e o inseticida Lambda-cialotrina apresentaram alta frequência de detecção e as concentrações foram elevadas. Em geral, as concentrações ultrapassam aos limites máximos estabelecidos pela Diretiva Européia. As normas brasileiras não apresentam padrões para a maioria dos pesticidas analisados.

**PALAVRAS CHAVE:** pesticidas, poluição agrícola, padrão ambiental.

**ABSTRACT:** Pesticides are used in agriculture and can to promote the degradation in surface and ground water. In this work, pesticides were determinate on surface and ground waters of the basin of the Itajaí river. Sampling were realized in seven sites of surface water and seven sites of groundwater. In a first step were analyzed herbicides used in rice tillage - 2,4-D, metsulfuron-methyl, pyrazosulfuron-ethyl and quinclorac. In other step were determined the amount of the herbicides 2,4-D, alachlor, atrazine e diuron, the fungicides azoxystrobin, methalaxyl, metconazole and tebuconazole and the insecticide lambda-cyhalothrin. The frequency and the amount change with the pesticides. Was verified that the herbicides are detected with low frequency in both surface and ground water. For other hand, the fungicides metconazole and tebuconazole, the insecticide lambda-cyhalothrin have a high frequency of detection and the amounts are high. In general, the concentrations exceed the maximum limits of the European Directive. No have standard for the Brazilian laws for most pesticides analyzed.

**KEY WORD:** pesticides, agricultural pollution, environmental standard.

## INTRODUÇÃO

O aumento da produtividade na agricultura moderna está associado ao uso crescente de pesticidas (Pretty, 2008). Os maiores consumidores mundiais são igualmente os maiores produtores de alimentos e produtos agropecuários. Desde a década de 1970, o Brasil encontra-se entre os maiores consumidores mundiais de pesticidas (Peres e Moreira, 2007a, Waichman *et al.*, 2007). Nas ultimas décadas, o crescimento do consumo anual de pesticidas tem sido, em média, da ordem de 10% ao ano (Terra e Pelaez, 2008).

A maioria dos pesticidas são moléculas orgânicas sintéticas, no qual suas propriedades tóxicas permitem controlar organismos indesejáveis à agricultura.

A sua presença no solo, na água e no ar provoca efeitos sobre a saúde pública e ao meio ambiente, podendo gerar desequilíbrios nos ecossistemas, com impactos negativos imediatos ou a longo termo (Gibson e Koifman, 2008, Peres e Moreira, 2007b). Visando minimizar os seus efeitos, as legislações internacionais e nacionais, estabeleceram padrões ambientais para águas e alimentos. A norma européia, por exemplo, fixa a concentração em  $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$  para cada tipo de molécula e em  $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$  para o conjunto de moléculas, nas águas para consumo humano (Prammer, 1998). Limites semelhantes foram adotados em outros países, como Estados Unidos e Canadá (CDW, 2009, USEPA, 2009). A Organização Mundial da Saúde recomenda valores limites para alguns pesticidas, cujos teores são diferentes para cada ingrediente

ativo considerado (Who, 2006). No Brasil, a Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde (Brasil, 2004), que estabelece os padrões de potabilidade das águas para consumo humano, fixa valores diferentes para cada ingrediente ativo, variando entre 0,03  $\mu\text{g L}^{-1}$  (heptacloro) a 500  $\mu\text{g L}^{-1}$  (glifosato). Os padrões ambientais dos corpos de águas superficiais e subterrâneos são ainda estabelecidos nas Resoluções 357/2005 e 396/2008 do CONAMA, respectivamente (Brasil, 2008). Os valores máximos são específicos para cada ingrediente ativo, porém, são estabelecidos padrões para apenas alguns destes ingredientes ativos.

Os países desenvolvidos possuem em geral, programas de monitoramento dos corpos de águas superficiais e subterrâneos, no qual se observa que são detectadas a presença destes ingredientes ativos. A França, por exemplo, realiza monitoramento em 2.032 pontos de amostragem sendo que em 2005 foram quantificados 233 ingredientes ativos em águas superficiais e 149 em águas subterrâneas. Os ingredientes ativos foram detectados pelo menos uma vez em 91% dos pontos em águas superficiais e em 55% dos pontos em águas subterrâneas (Ifen, 2005), indicando uma dispersão importante e uma presença generalizada nos meios aquáticos. As concentrações são variáveis e em 15% dos pontos elas podem afetar o equilíbrio ecológico nos ecossistemas. Os Estados Unidos possuem rede de monitoramento de águas superficiais e subterrâneas sendo que no período de 1992 a 2001, um ou mais dos ingredientes ativos ou seus metabolitos foram encontrados em todos os pontos de amostragem, estando presente em mais de 90% do tempo (Gilliom, 2007).

No Brasil, o monitoramento de pesticidas em águas superficiais e subterrâneas ainda não é prática corrente, devido a ausência de infraestrutura laboratorial necessária e aos custos elevados envolvidos na realização das análises. Estudos pontuais vêm apresentando resultados da presença de moléculas em águas superficiais (Armas *et al.*, 2007, Filizola *et al.*, 2002, Grützmacher *et al.*, 2008, Laabs *et al.*, 2002, Primel *et al.*, 2005, Silva e Tonial, 2004) e em águas subterrâneas (Arraes *et al.*, 2008).

Santa Catarina é apontado como o estado com maior proporção de contaminação, uma vez que 56% dos seus municípios reportaram a ocorrência de contaminação no solo por pesticidas (IBGE, 2005). Este é o caso da bacia do Itajaí, situada na vertente Atlântica do Estado de Santa Catarina, em especial, na região do Alto Vale. A agricultura representa uma importante parcela da economia regional. Trabalho

recente (Pinheiro e Rosa, 2008), verificou que são utilizados aproximadamente 39 ingredientes ativos de herbicidas, 33 de inseticidas e 32 de fungicidas nos cultivos de milho, cebola, fumo, arroz, feijão e pastagem. Na cultura de cebola são utilizados cerca de 50 ingredientes ativos de pesticidas. Foi aplicado o método SIRIS, o qual permite classificar os ingredientes ativos quanto ao seu risco de degradação das águas superficiais e subterrâneas. Constataram que poucos ingredientes ativos são classificados com risco alto ou muito alto de degradação das águas superficiais e de águas subterrâneas. O herbicida diuron e o inseticida carbofurano são os ingredientes ativos com maior risco de degradação das águas superficiais. Um levantamento desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina - EPAGRI detectou a ocorrência de alguns ingredientes ativos nas águas superficiais de rios das bacias da vertente Atlântica de Santa Catarina (Deschamps *et al.*, 2003).

Este trabalho tem por objetivo detectar, quantificar e verificar a dispersão de ingredientes ativos utilizados na agricultura nas águas superficiais e subterrâneas, da parte superior da bacia do Rio Itajaí.

## MATERIAIS E MÉTODOS

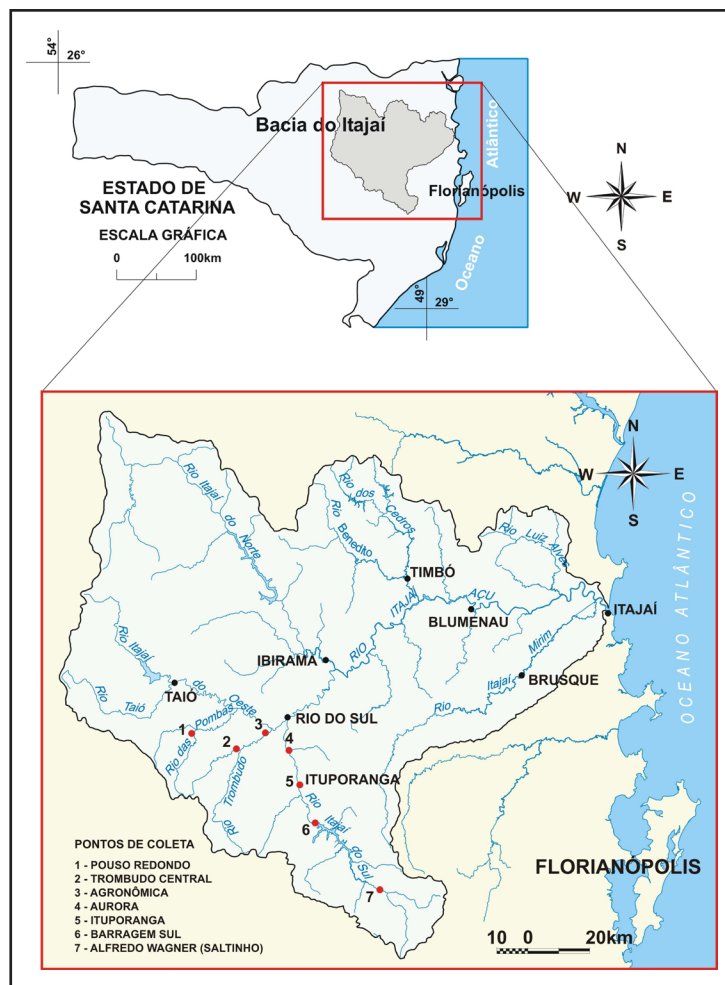
A área de estudo é a bacia hidrográfica do rio Itajaí, situada na vertente Atlântica do Estado de Santa Catarina. Ela possui uma área de drenagem de 15.000  $\text{km}^2$  (Figura 1). A região do Alto Vale do Itajaí onde foi realizado o estudo é caracterizada por municípios de pequeno porte, com solo rural utilizado para agropecuária e florestas. A região apresenta 91,1% das propriedades rurais com menos de 50 ha (EPAGRI, 2001). Em 2000, agricultura e pastagem ocupavam aproximadamente 31,64%, a rizicultura 2,68% e áreas urbanas 1,81% das áreas de drenagem das sub-bacias Itajaí do Sul e Itajaí do Oeste (Vibrans, 2003).

O estudo compreendeu duas etapas distintas. A primeira consistiu na coleta das amostras de águas de rios e poços e a segunda compreendeu o tratamento analítico das amostras em laboratório. Foram estabelecidos 7 pontos de amostragens em rios e 7 pontos de amostragem em poços. Os poços escolhidos estão localizados o mais próximo possível do ponto de amostragem do rio. Os poços são rasos, utilizados para abastecimento de água potável aos produtores rurais. As coletas foram realizadas no período de dezembro de 2004 a março de 2007.

O tratamento analítico das amostras de águas considerou dois conjuntos diferentes de moléculas analisadas. Inicialmente, foram determinadas as concentrações dos herbicidas, usados na rizicultura 2,4-D, metsulfurom-metilico, pirazossulfurom-etílico e quincloraque. Foram analisadas 139 amostras, sendo 106 de águas superficiais e 33 de águas subterrâneas. Posteriormente, foram determinadas as concentrações dos herbicidas 2,4-D, alacloro, atrazina e diuron, dos fungicidas azoxistrobina, metalaxyl, metconazol e tebuconazol e, do inseticida lambda-cialotrina. Foram analisadas 34 amostras, sendo 23 de águas superficiais e 11 de águas subterrâneas. Informações dos pesticidas analisados são apresentadas na tabela 1. As coletas de amostras de águas foram realizadas em todos os pontos. No entanto, nem todas as amostras

foram analisadas, devido a problemas ocorridos no cromatógrafo.

A mudança dos pesticidas analisados foi adotada em função dos resultados obtidos na primeira fase. A frequência de detecção foi baixa. Supôs-se que os resultados pudessem estar sendo influenciados pelo tipo de pesticidas, os quais são recomendados para uso em culturas de arroz, cuja ocupação na bacia é pequena quando comparada as outras culturas, principalmente cebola que é largamente desenvolvida na região. Além disto, a inclusão de fungicidas e inseticidas tornaria mais representativa o conjunto de pesticidas usados na região do Alto Vale do Itajaí. Assim, na segunda fase foram analisados pesticidas de uso geral nas diversas culturas desenvolvidas pelos produtores rurais.



**FIGURA 1:** Bacia do Itajaí com os pontos de coleta de água.

TABELA1  
Pesticidas avaliados em águas superficiais e subterrâneas na bacia do Itajaí  
com os respectivos limites máximos estabelecidos pelo CONAMA

| Pesticidas              | Nomenclatura                                                                                                                     | Culturas                             | Padrões em águas       |                         |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|-------------------------|
|                         |                                                                                                                                  |                                      | Superf. <sup>(1)</sup> | Subterr. <sup>(1)</sup> |
| I - HERBICIDAS          |                                                                                                                                  |                                      |                        |                         |
| 2,4-D                   | 2,4-dichlorophenoxyacetic acid                                                                                                   | arroz, pastagem, milho, ...          | 4 g L <sup>-1</sup>    | 30 g L <sup>-1</sup>    |
| Alacloro                | 2-chloro-2',6'-diethyl-N-methoxymethylacetanilide                                                                                | milho                                | 20 g L <sup>-1</sup>   | 20 g L <sup>-1</sup>    |
| Atrazina                | 6-chloro-N2-ethyl-N4-isopropyl-1,3,5-triazine-2,4-diamine                                                                        | milho                                | 2 g L <sup>-1</sup>    | 2 g L <sup>-1</sup>     |
| Diuron                  | 3-(3,4-dichlorophenyl)-1,1-dimethylurea                                                                                          | milho, cana de açúcar, ..            |                        |                         |
| Metsulfurom-metílico    | methyl 2-(4-methoxy-6-methyl-1,3,5-triazin-2-ylcarbamoylsulfamoyl)benzoate                                                       | arroz, pastagem, cana de açúcar, ... |                        |                         |
| Pirazossulfurom-etílico | Ethyl 5-(4,6-dimethoxypyrimidin-2-ylcarbamoylsulfamoyl)-1-methylpyrazole-4-carboxylate                                           | arroz                                |                        |                         |
| Quincloraque            | 3,7-dichloroquinoline-8-carboxylic acid                                                                                          | arroz                                |                        |                         |
| II – FUNGICIDAS         |                                                                                                                                  |                                      |                        |                         |
| Azoxistrobina           | methyl (E)-2-[2-[6-(2-cyanophenoxy)pyrimidin-4-yloxy]phenyl]-3-methoxyacrylate                                                   | cebola, arroz, batata, ...           |                        |                         |
| Metalaxil-M             | methyl N-methoxyacetyl-N-2,6-xylyl-D-alaninate                                                                                   | cebola, milho, fumo, ...             |                        |                         |
| Metconazol              | (1RS,5RS;1RS,5SR)-5-(4-chlorobenzyl)-2,2-dimethyl-1-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl)cyclopentanol                                   | cebola, feijão, batata, ...          |                        |                         |
| Tebuconazol             | (RS)-1-p-chlorophenyl-4,4-dimethyl-3-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl)pentan-3-ol                                                    | cebola, arroz, batata, ...           |                        |                         |
| III – INSETICIDAS       |                                                                                                                                  |                                      |                        |                         |
| Lambda-cialotrina       | [1alpha(S*),3 alpha(Z)]-cyano(3-phenoxyphenyl)methyl 3-(2-chloro-3,3,3-trifluoro-1-propenyl)-2,2-dimethylcyclopropanecarboxylate | cebola, arroz, milho,...             |                        |                         |

(1) (BRASIL, 2008)

As coletas foram realizadas com uma garrafa Van-Dorf de 2 L. Antes da coleta os recipientes foram previamente limpos, sendo também lavados com água amostrada em cada local de coleta. Procurou-se coletar água desde o fundo até a superfície. Foi coletado 1L de água em cada ponto de amostragem. As amostras foram armazenadas em frascos de vidro, limpos anteriormente com água, detergente e rinsados com acetona. Após a coleta, as amostras de água foram filtradas com filtros de nitrato de celulose com poro de 0,45  $\mu\text{m}$ , para eliminar o material particulado presente, sendo acondicionadas em frascos de vidro âmbar onde foi adicionado 5 mL de metanol para fins de conservação, homogeneizadas e finalmente guardadas em um reservatório com gelo até serem acondicionadas em refrigerador a 4°C. Este procedimento foi realizado para evitar possíveis degradações ou reações químicas entre os constituintes da amostra. Nestas condições, é possível conservar as amostras por pelo menos sete dias antes da extração e análise dos agroquímicos.

Os solventes, acetato de etila e metanol foram grau HPLC, sendo adquiridos junto a J.T. BAKER. A água utilizada foi do tipo Milli-Q. As colunas SPE com 500mg de  $\text{C}_{18}$  e capacidade para 6 mL foram adquiridas junto a J.T. BAKER. A estação de extração LICHROLUT<sup>TM</sup> foi adquirida junto a MERCK. A sílica gel para cromatografia é da MERCK. Os padrões dos ingredientes ativos foram obtidos junto a SUPELCO, sendo preparadas alíquotas dos mesmos a cinco diferentes concentrações.

As amostras de água após filtragem foram tratadas, com os ingredientes ativos em estudo extraídos para análise por cromatografia líquida de alta eficiência com um detector UV com um comprimento de onda de 214 nm. As condições de análise foram previstas durante o processo de calibração dos instrumentos analíticos. Em todas as etapas de extração e análise, foram utilizados contaminantes específicos, rastreados pelo NIST, visando verificar a eficiência de extração além de padrões internos, padrões de calibração de boa procedência e materiais de referência para dar credibilidade aos métodos de extração e aos resultados das análises. Foi realizada a calibração do cromatógrafo com os padrões dos ingredientes ativos e determinado os limites de detecção e quantificação, sendo respectivamente iguais a 1,0  $\mu\text{g L}^{-1}$  e 5,6  $\mu\text{g L}^{-1}$ . Os protocolos de extração das moléculas levaram em consideração as especificidades das mesmas. O procedimento utilizado na extração dos ingredientes ativos em estudo nas águas envolveu a técnica pro-

posta pela EPA (Environmental Protection Agency) 608/8080 constante no *BAKERBOND application notes* da J.T.Baker Corporation com a utilização de colunas *BAKERBOND spe octadecyl* ( $\text{C}_{18}$ ). O rendimento de extração dos agroquímicos em estudo utilizando esta metodologia situa-se entre 80% a 120%. O procedimento de condicionamento das colunas foi realizado com a adição de 3 mL de acetato de etila, seguido de 1 mL de metanol e 1 mL de água MILLI-Q tomando o cuidado de não deixar a coluna secar. Em seguida, sob vácuo foi passado na coluna, a amostra coletada a uma vazão de 25  $\text{mL min}^{-1}$  após, a coluna foi seca sob vácuo por 20 minutos. A recuperação dos herbicidas presentes nas amostras foi realizada com a adição de 0,5 mL de acetato de etila, sendo recuperado em balão volumétrico de 1 mL onde o volume final foi ajustado com acetato de etila, sendo finalmente passado para um vial e mantido em freezer até análise.

As condições cromatográficas para análise foram desenvolvidas para um cromatógrafo líquido Varian ProStar 230, com um detector UV-Vis ProStar 310 com um comprimento de onda de trabalho de 214nm. As condições analíticas utilizadas foram: coluna:  $\text{C}_{18}$  (250 x 4,6 mm, filme 5 $\mu\text{m}$ ). Para a fase móvel utilizou-se inicialmente álcool metílico, 0%, acetonitrila, 30% e  $\text{H}_2\text{O}$ , 70%, equilibrando os solventes no final. O fluxo dos solventes na coluna foi de 1  $\text{mL.min}^{-1}$ . O tempo de corrida foi de 30 min, com uma pressão máxima de 400 atm e uma pressão máxima de 6 atm. O volume do extrato adicionado foi de 1 $\mu\text{L}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira fase, no qual foram determinadas as concentrações de herbicidas utilizados no cultivo de arroz, nas águas superficiais foi detectada a presença das moléculas em estudo em duas datas de amostragem. Elas aconteceram em 3 pontos de amostragem. No ponto 3 foram detectadas, em uma amostragem, concentrações de 2,4-D (74,5  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), pirazossulfurom-etílico (23  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e quincloraque (33,5  $\mu\text{g L}^{-1}$ ). Nesta mesma data foi detectada concentração de 2,4-D (34,8  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) no ponto 1. Na outra data, foram detectadas concentrações de 2,4-D (3,81  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e quincloraque (48,84  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), no ponto 4. Isto representou que em apenas 2,83% das amostras foram detectadas a presença de pelo menos um herbicida. Alguns trabalhos mostram que vários pesticidas utilizados na cultura do arroz

irrigado podem persistir na água utilizada na irrigação da lavoura arrozeira. No monitoramento da persistência de herbicidas utilizados em arroz irrigado, verificou-se que o clomazone foi o herbicida mais persistente em águas de rios, seguido de quincloraque, bentazona, 2,4-D e propanila (Grützmacher *et al.*, 2008, Marchezan *et al.*, 2003).

Nas águas subterrâneas, em apenas 5 amostras foram detectadas concentrações de herbicidas. Em duas destas 5 amostras, estavam presentes duas moléculas. No ponto de coleta 1, foram detectados os herbicidas 2,4-D e pirazossulfurom-etílico nas concentrações  $1,15 \mu\text{g L}^{-1}$  e  $0,84 \mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente. No ponto de coleta 4, foi detectada, em apenas uma amostra, concentração de  $0,87 \mu\text{g L}^{-1}$  de pirazossulfurom-etílico. No ponto de coleta 5, foram detectadas concentrações de pirazossulfurom-etílico, em duas amostras, nas concentrações de  $1,46 \mu\text{g L}^{-1}$  e  $0,88 \mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente. Além de pirazossulfurom-etílico, em uma das amostras, também foi detectada concentração do herbicida quincloraque ( $1,81 \mu\text{g L}^{-1}$ ). No ponto de coleta 7, detectou-se a presença de 2,4-D em uma amostra, cuja concentração foi de  $0,88 \mu\text{g L}^{-1}$ . Estes resultados demonstram que em 15,15% das amostras foram detectados pelo menos um herbicida. A natureza polar e a boa solubilidade destes herbicidas permitem uma alta mobilidade o que permite sua determinação em corpos de água (Battaglin *et al.*, 2000). As concentrações encontradas nas águas subterrâneas são baixas, porém dependendo da natureza do solo, têm sido encontradas algumas moléculas, entre elas o quincloraque e o 2,4-D (Hill *et al.*, 2000).

Constata-se que o herbicida metssulfuron-metílico, o qual também foi analisado tanto em águas superficiais quanto águas subterrâneas, não foi encontrado em nenhuma das amostras. Alguns pesquisadores sugerem que o risco maior de lixiviação de metssulfurom metílico está associado a solos alcalinos (Wang *et al.*, 2009). Além disto, as concentrações detectadas nos pesticidas ficaram acima do limite máximo permitido pela Diretiva Européia de qualidade de águas, que estabelece  $0,10 \mu\text{g L}^{-1}$  aos pesticidas individualmente em águas para o consumo humano. Em águas superficiais, a concentração do herbicida 2,4-D foi superior ao padrão da Resolução n° 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 2008), que estabelece concentração máxima na água, para Classe 1 e 2, de  $4,0 \mu\text{g L}^{-1}$ . Em águas subterrâneas, as concentrações do herbicida 2,4-D foram inferiores aos padrões indicados pela Resolu-

ção 396/08 e pela Portaria n° 518/04 do Ministério da Saúde, cuja concentração máxima para o 2,4-D é de  $30 \mu\text{g L}^{-1}$ .

Na segunda fase, no qual foram analisados outros pesticidas utilizados em outras culturas desenvolvidas na região, não foram detectados os herbicidas 2,4-D, alacloro, atrazina e diuron, nem o fungicida metalaxil-M. O fungicida azoxistrobina foi detectado em uma amostra de água superficial (ponto 1), na concentração de  $9,09 \mu\text{g L}^{-1}$ . Os fungicidas metconazol e tebuconazol e o inseticida foram detectados em 79,4% das amostras. O metconazol foi detectado em 52,2% das águas superficiais e em 36,4% das águas subterrâneas. Para o tebuconazol as detecções foram de 34,8% e 18,2%, enquanto o lambda-cialotrina foi detectado em 30,4% e 45,5%, em águas superficiais e águas subterrâneas, respectivamente. A tabela 2 apresenta as concentrações dos pesticidas detectados nas amostras. O fungicida metalaxil-M foi encontrado em águas superficiais com uma frequência muito baixa, 3% em 63 pontos de amostragem (Hildebrandt *et al.*, 2008, Papadopolou-Mourkidou *et al.*, 2004). Azo-compostos classificados como triazóis e imidazóis, são usados na fabricação de fungicidas para a agricultura, além de biocidas em vários produtos e, agentes antifúngicos em produtos veterinários e farmacêuticos. São moderadamente lipofílicos e levemente persistentes, com meias vidas que variam de semanas a meses. O metconazol e o tebuconazol tem sido estudados em alguns ambientes aquáticos, sendo encontrados geralmente em baixas concentrações (Kahle *et al.*, 2008).

Dois pontos são importantes de serem ressaltados. Primeiro, obteve-se baixa frequência ou mesmo a não detecção de herbicidas nas águas superficiais e subterrâneas amostradas e, segundo a elevada frequência de detecção e de concentração em águas superficiais quanto subterrâneas dos fungicidas metconazol e tebuconazol e do inseticida Lambda-cialotrina. A presença de atrazina em águas subterrâneas tem sido detectada com elevada frequência (Arraes, *et al.*, 2008) apresentando concentrações superiores aos padrões estabelecidos pela Resolução 396/008 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 2008). Em monitoramentos realizados na Europa (Guerit *et al.*, 2008, Ifen, 2005, Konstantinou *et al.*, 2006, Martinez, *et al.*, 2000), América do Norte (Frank *et al.*, 1982, Gilliom, 2007, Thurman *et al.*, 2000) e Austrália (McMahon *et al.*, 2005) são frequentemente detectadas presença de herbicidas, principalmente a atrazina, o diuron e o alacloro. Os

TABELA 2  
Concentrações de pesticidas na bacia do Itajaí. Valores expressos em µg L<sup>-1</sup>

| Ponto                     | Azoxistrobina | Metconazol | Tebuconazol | Lambda-cialotrina |
|---------------------------|---------------|------------|-------------|-------------------|
| <b>Água superficial</b>   |               |            |             |                   |
| 1                         | nd            | 7,306      | 32,28       | nd                |
| 1                         | 9,09          | nd         | 39,64       | 1,79              |
| 1                         | nd            | 58,75      | nd          | nd                |
| 1                         | nd            | 29,69      | nd          | nd                |
| 2                         | nd            | nd         | 261,75      | 5,42              |
| 3                         | nd            | 45,32      | nd          | nd                |
| 3                         | nd            | nd         | nd          | 7,53              |
| 4                         | nd            | 28,17      | nd          | 1,70              |
| 4                         | nd            | 41,10      | nd          | nd                |
| 4                         | nd            | 42,57      | nd          | nd                |
| 4                         | nd            | 8,28       | 127,78      | nd                |
| 5                         | nd            | 8,36       | 49,53       | nd                |
| 5                         | nd            | nd         | 142,89      | 7,24              |
| 6                         | nd            | 9,98       | nd          | nd                |
| 6                         | nd            | nd         | nd          | 11,49             |
| 7                         | nd            | nd         | nd          | 5,33              |
| 7                         | nd            | 6,89       | 153,16      | nd                |
| 7                         | nd            | 15,04      | 38,38       | 8,19              |
| <b>Águas Subterrâneas</b> |               |            |             |                   |
| 1                         | nd            | nd         | nd          | 1,09              |
| 3                         | nd            | 167,41     | nd          | 7,96              |
| 3                         | nd            | nd         | 295,14      | 5,25              |
| 3                         | nd            | nd         | nd          | 6,98              |
| 5                         | nd            | 85,81      | nd          | nd                |
| 5                         | nd            | 113,31     | nd          | nd                |
| 6                         | nd            | nd         | 217,74      | nd                |
| 7                         | nd            | nd         | nd          | 5,62              |
| 7                         | nd            | 133,77     | nd          | nd                |

nd – não detectado.

levantamentos de campo mostram que no Alto Vale do Itajaí, a quantidade de herbicida usada corresponde a cerca de 50% do total de pesticidas utilizados na região (Pinheiro e Rosa, 2008).

As zonas ripárias com vegetação poderiam estar desempenhando um papel de retenção e dissipação dos herbicidas analisados. Estudos realizados (Pinheiro et al., 2008) mostram que em pequenas bacias do Alto Vale do Itajaí, a ocupação por matas nativas é elevada próxima aos cursos de água. Além disto, a ocupação por culturas é mais elevada na faixa de 20-30 m do que entre 0-20 m, em torno dos cursos de água. A presença de vegetação na zona ripária altera a estrutura do solo, aumenta o processo de sedimentação e o conteúdo de matéria orgânica (Lacas *et al.*, 2005, Reichenberger *et al.*, 2007). Como consequência, tem-se o aumento da infiltração da água e da capacidade de adsorção. Os herbicidas em solução são transportados no perfil do solo e aqueles com baixa solubilidade são retidos, retardando ou reduzindo o transporte em direção as águas superficiais. Além disto, deve ser considerado que a heterogeneidade espacial nas bacias hidrográficas faz com que apenas algumas áreas contribuem aos corpos de águas (Frey *et al.*, 2009).

As elevadas concentrações dos fungicidas e do inseticida e a presença tanto em águas superficiais e subterrâneas são extremamente preocupantes. Estes pesticidas são prejudiciais a saúde pública e ao meio ambiente, principalmente aos meios aquáticos. A

legislação brasileira não apresenta padrões aos pesticidas analisados.

## CONCLUSÕES

Os resultados fornecem um indicativo de quanto a frequência e a concentração das moléculas de pesticidas em águas superficiais e subterrâneas são relativamente baixas e dependem de vários fatores. Os pesticidas usados em culturas do arroz, onde o uso de herbicidas é elevado, a frequência de detecção das mesmas é igualmente baixa, mesmo quando se amostram vários pontos. Foi verificado ainda que as concentrações das moléculas detectadas nas águas superficiais são maiores que as concentrações detectadas nas águas subterrâneas. Isto é um indicativo de que o solo atenua o deslocamento destas moléculas em direção as águas subterrâneas.

Não foram detectados herbicidas usados nas diferentes culturas do Alto Vale do Itajaí nas águas superficiais e subterrâneas. As zonas ripárias podem ter influenciado neste resultado. No entanto, a frequência de detecção do inseticida Lambda-cialotrina e dos fungicidas metconazol e tebuconazol foram elevadas.

## AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer ao CNPq Processos 470736/2005-6 e 300645/2005-8 pelo financiamento.

## Referências

- ARMAS, E. D. D.; MONTEIRO, R. T. R.; ANTUNES, P. M.; SANTOS, M. A. P. F. D.; CAMARGO, P. B. D. e ABAKERLI, R. B. Diagnóstico espaço-temporal da ocorrência de herbicidas nas águas superficiais e sedimentos do Rio Corumbataí e principais afluentes. *Química Nova*, v. 30, p. 1119-1127, 2007.
- ARRAES, A. A.; BARRETO, F. M. S. e ARAÚJO, J. C. *Use of atrazine and groundwater availability in Brazil*. XIII World Water Congress, Montpellier. Proceedings. Johannesburg: International Water Resources Association. 2008.
- BATTAGLIN, W. A.; FURLONG, E. T.; BURKHARDT, M. R. e PETER, C. J. Occurrence of sulfonylurea, sulfonamide, imidazolinone, and other herbicides in rivers, reservoirs and ground water in the Midwestern United States, 1998. *The Science of The Total Environment*, v. 248, n. 2-3, p. 123-133, 2000.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE - BRASIL. *Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências*. Brasília - DF. 2004. p. 256-270. 2004.
- BRASIL. *Resoluções CONAMA: 1984 à 2008*. Disponível em <http://www.mma.gov.br>. Acesso em 23/03/2009.
- CDW - HEALTH CANADA. *Water Quality. reports and publications. Guidelines for Canadian drinking water quality*. Disponível em [http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/sum\\_guide-res\\_recom/intro-eng.php](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/sum_guide-res_recom/intro-eng.php). Acesso em 21/02/2009.
- DESCHAMPS, F. C.; NOLDIN, J. A. e EBERHARDT, D. S. Resíduos de agroquímicos em águas nas áreas de arroz irrigado em Santa Catarina. *Anais Simpósio Brasileiro de Arroz Irrigado*, 2003.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Current drinking water standards* 2009. Disponível em <http://www.epa.gov/safewater/contaminants/index.html>

Acesso em 24/02/2009.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA - EPAGRI. *Relatório da Gerência Regional de Rio do Sul*. Rio do Sul. 2001. p. 1-35. 2001.

FILIZOLA, H. F.; FERRACINI, V. L.; SANS, L. M. A.; GOMES, M. A. F. e FERREIRA, C. J. A. Monitoramento e avaliação do risco de contaminação por pesticidas em água superficial e subterrânea na região de Guaíba. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, p. 659-667, 2002.

FRANK, R.; BRAUN, H. E.; HOLDRINET, M. V.; SIRON, G. J. e RIPLEY, B. D. Agriculture and Water-Quality in the Canadian Great-Lakes Basin. 5. Pesticide Use in 11 Agricultural Watersheds and Presence in Stream Water, 1975-1977. *Journal of Environmental Quality*, v. 11, n. 3, p. 497-505, 1982.

FREY, M. P.; SCHNEIDER, M. K.; DIETZEL, A.; REICHERT, P. e STAMM, C. Predicting critical source areas for diffuse herbicide losses to surface waters: Role of connectivity and boundary conditions. *Journal of Hydrology*, v. 365, n. 1-2, p. 23-36, Feb 15 2009.

GIBSON, G. e KOIFMAN, S. Agricultural toxic use and temporal distribution of male birth rate in the state of Parana, Brazil. *Revista Panamericana De Salud Publica-Pan American Journal of Public Health*, v. 24, n. 4, p. 240-247, Oct 2008.

GILLIOM, R. J. Pesticides in U.S. streams and groundwater. *Environmental Science & Technology*, v. 41, n. 10, p. 3407-3413, May 15 2007.

GRÜTZMACHER, D. D.; GRÜTZMACHER, A. D.; AGOSTINETTO, D.; LOECK, A. E.; ROMAN, R.; PEIXOTO, S. C. e ZANELLA, R. Monitoramento de agrotóxicos em dois mananciais hídricos no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 6, p. 632-637, 2008.

GUERIT, I.; BOCQUENE, G.; JAMES, A.; THYBAUD, E. e MINIER, C. Environmental risk assessment: A critical approach of the European TGD in an in situ application. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 71, n. 1, p. 291-300, Sep 2008.

HILDEBRANDT, A.; GUILLAMÓN, M.; LACORTE, S.; TAULER, R. e BARCELÓ, D. Impact of pesticides used in agriculture and vineyards to surface and groundwater quality (North Spain). *Water Research*, v. 42, n. 13, p. 3315-3326, 2008.

HILL, B. D.; MILLER, J. J.; HARKER, K. N.; BYERS, S. D.; INABA, D. J. e ZHANG, C. Estimating the relative leaching potential of herbicides in Alberta soils. *Water Quality Research Journal of Canada*, v. 35, n. 4, p. 693-710, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Pesquisa de Informações básicas municipais: perfil dos municípios brasileiros - meio ambiente*. Rio de Janeiro. 2005. p. 382.

INSTITUT FRANÇAIS DE L'ENVIRONNEMENT - IFEN. *Les pesticides dans les eaux : Données 2005*. Relatório nº 9. Dezembro/2005. p. 1-39. 2005.

KAHLE, M.; BUERGE, I. J.; HAUSER, A.; MÜLLER, M. D. e POIGER, T. Azole Fungicides: Occurrence and Fate in Wastewater and Surface Waters. *Environmental Science & Technology*, v. 42, n. 19, p. 7193-7200, 2008.

KONSTANTINOU, I. K.; HELA, D. G. e ALBANIS, T. A. The status of pesticide pollution in surface waters (rivers and lakes) of Greece. Part I. Review on occurrence and levels. *Environmental Pollution*, v. 141, n. 3, p. 555-570, Jun 2006.

LAABS, V.; AMELUNG, W.; PINTO, A. e ZECH, W. Fate of pesticides in tropical soils of Brazil under field conditions. *Journal of Environmental Quality*, v. 31, n. 1, p. 256-268, Jan-Feb 2002.

LACAS, J. G.; VOLTZ, M.; GOUY, V.; CARLUER, N. e GRIL, J. J. Using grassed strips to limit pesticide transfer to surface water: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 25, n. 2, p. 253-266, Apr-Jun 2005.

MARCHEZAN, E.; CAMARGO, E. R.; ZANELLA, R.; PRIMEL, E. G.; GONÇALVES, F. F.; MACHADO, S. D. O.; MACEDO, V. R. M. e MARCOLIN, H. Dispersão dos herbicidas clomazone, quinclorac e propanil nas águas da bacia hidrográfica dos rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim, no período de cultivo do arroz irrigado. *Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 3, Reunião da Cultura do Arroz Irrigado*, p. 689-691, 2003.

MARTINEZ, R. C.; GONZALO, E. R.; LAESPADA, E. F. e SAN ROMAN, F. J. S. Evaluation of surface- and ground-water pollution due to herbicides in agricultural areas of Zamora and Salamanca (Spain). *Journal of Chromatography A*, v. 869, n. 1-2, p. 471-480, Feb 11 2000.

MCMAHON, K.; NASH, S. B.; EAGLESHAM, G.; MULLER, J. F.; DUKE, N. C. e WINDERLICH, S. Herbicide contamination and the potential impact to seagrass meadows in Hervey Bay, Queensland, Australia. *Marine Pollution Bulletin*, v. 51, n. 1-4, p. 325-334, 2005.

PAPADOPOULOU-MOURKIDOU, E.; KARPOUZAS, D. G.; PATSIAS, J.; KOTOPOULOU, A.; MILOTHRIDOU, A.; KINTZIKOGLU, K. e VLACHOU, P. The potential of pesticides to contaminate the groundwater resources of the Axios river basin. Part II. Monitoring study in the south part of the basin. *Science of The Total Environment*, v. 321, n. 1-3, p. 147-164, 2004.

PERES, F. e MOREIRA, J. C. Health, environment, and pesticide use in a farming area in Rio de Janeiro State, Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 23, p. S612-S621, 2007a.

PERES, F. e MOREIRA, J. C. Saúde e ambiente em sua relação com o consumo de agrotóxicos em um pólo agrícola do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 23, p. S612-S621, 2007b.

PINHEIRO, A. e ROSA, F. C. Classificação dos pesticidas usados na bacia do Itajaí quanto ao risco de degradação dos recursos hídricos. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v. 18, p. 45-58, 2008.

PINHEIRO, A.; BERTOLDI, J.; KAUFMANN, V.; VIBRANS, A. C. Distribuição do uso do solo na zona ripária de bacias agrícolas de pequeno a médio porte. *Revista Árvore* (submetido), 2008.

- PRAMMER, B. Directiva 98/83/CE do Conselho relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano. *Jornal Oficial das Comunidades Européias*, v. 1, n. 1, p. 1-23, 1998.
- PRETTY, J. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, v. 363, n. 1491, p. 447-465, Feb 12 2008.
- PRIMEL, E. G.; ZANELLA, R.; KURZ, M. H. S.; GONCALVES, F. F.; MACHADO, S. D. e MARCHEZAN, E. Pollution of water by herbicides used in the irrigated rice cultivation in the central area of Rio Grande do Sul State, Brazil: Theoretical prediction and monitoring. *Química Nova*, v. 28, n. 4, p. 605-609, Jul-Aug 2005.
- REICHENBERGER, S.; BACH, M.; SKITSCHAK, A. e FREDE, H. G. Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness; A review. *Science of the Total Environment*, v. 384, n. 1-3, p. 1-35, Oct 1 2007.
- SILVA, M. R. e TONIAL, I. B. Verificação dos teores residuais de agroquímicos organoclorados em águas, no rio Chopim e seus afluentes, rio Caldeiras, rio Bandeira e rio Lontras no município de Palmas - PR. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 9, n. 4, p. 45-55, 2004.
- TERRA, F. H. B. e PELAEZ, V. *A evolução da indústria de agrotóxicos no Brasil de 2001 a 2007: a expansão da agricultura e as modificações na lei de agrotóxicos* XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. 2008.
- THURMAN, E. M.; BASTIAN, K. C. e MOLLHAGEN, T. Occurrence of cotton herbicides and insecticides in playa lakes of the High Plains of West Texas. *Science of the Total Environment*, v. 248, n. 2-3, p. 189-200, Apr 5 2000.
- VIBRANS, A. C. *A cobertura florestal da bacia do rio Itajaí - elementos para uma análise histórica*. (Doutorado) - Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. p. 240.
- WAICHMAN, A. V.; EVE, E. e NINA, N. C. D. Do farmers understand the information displayed on pesticide product labels? A key question to reduce pesticides exposure and risk of poisoning in the Brazilian Amazon. *Crop Protection*, v. 26, n. 4, p. 576-583, Apr 2007.
- WANG, H. Z.; GAN, J.; ZHANG, J. B.; XU, J. M.; YATES, S. R.; WU, J. J. e YE, Q. F. Kinetic Distribution of C-14-Metsulfuron-methyl Residues in Paddy Soils under Different Moisture Conditions. *Journal of Environmental Quality*, v. 38, n. 1, p. 164-170, Jan-Feb 2009.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for Drinking-Water Quality*. 1st Addendum to vol. 1. Disponível em [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq0506.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq0506.pdf). Acesso em 29/02/2009.

**Adilson Pinheiro** Doutor, professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Regional de Blumenau. Email: [pinheiro@furb.br](mailto:pinheiro@furb.br)

**Marcos Rivail da Silva** Doutor, professor do Departamento de Química da Universidade Regional de Blumenau. Email: [rivail@furb.br](mailto:rivail@furb.br)

**Raquel Kraisch** Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da FURB. Email: [raquelkraisch@yahoo.com.br](mailto:raquelkraisch@yahoo.com.br)

# A Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo: condições para o seu surgimento e a sua implementação

Maria Lucia G. Borba  
Monica F. A. Porto

**RESUMO:** No Brasil, estudos sobre políticas públicas focalizam, sobretudo, o conteúdo de políticas e não seu surgimento e implementação. Este artigo, ao contrário, trata dos processos que levam à formulação de políticas públicas em geral e, em particular, das condições que favoreceram o surgimento da Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, instituída através da Lei 7663 de 1991, e de seu princípio da adoção da bacia hidrográfica como a unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento. A partir de um referencial teórico sobre o surgimento e a formulação de políticas públicas, a pergunta que o artigo procura responder é: “quais os principais fatores que influenciaram o surgimento, em São Paulo, da Política Estadual de Recursos Hídricos e a sua implementação?” Focaliza, portanto, não o seu conteúdo, mas sim os processos que influenciaram o seu surgimento, as condições que favorecem sua implementação e os entraves que a obstaculizam. A análise se apóia, principalmente, no referencial que proporciona o ‘neo-institucionalismo’. Conclui que as condições para o surgimento da Lei paulista e sua implementação se interconectam e se mesclam em um universo de influências, sobretudo por parte de grupos de experts e de pressão e por arranjos político-institucionais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Políticas públicas; Política Estadual de Recursos Hídricos; São Paulo.

**ABSTRACT:** In Brazil, studies on public policies tend to focus in the analysis of their contents rather than in the processes leading to their formulation and the evaluation of their implementation. On the contrary, this article refers to the processes motivating the formulation of public policies in general and, in particular, of the 1991 São Paulo State Water Resources Policy and of its basic principle: the adoption of the river basin as the planning and managing territorial unity. Based on theoretical references on Public Policy formulation processes, the paper tries to answer the following question: which are the main factors affecting the formulation and the implementation of the São Paulo State Water Resources Policy? Therefore, the objective of this paper is not an analysis of the policy itself but rather an analysis of the processes influencing its formulation and the conditions facilitating and hindering its implementation. Based mainly in the ‘neo-institutionalism’ theory, the article concludes that the conditions influencing the origins of the Policy and the difficulties for its implementation are interconnected in a universe of influences mainly by experts and pressure groups and by institutional arrangements.

**KEY-WORDS:** Public Policies; State Water Resources Policy; São Paulo.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, crescente atenção vem sendo dada à análise de Políticas Públicas. Ainda que importantes, estes estudos tendem a concentrar-se mais na análise do conteúdo das políticas do que no processo da sua formulação e na avaliação da sua implementação. Numa tentativa de contribuir para diminuir essa lacuna, a partir de um referencial teórico sobre o surgimento e a formulação de políticas públicas, a pergunta que o artigo procura responder é: “quais são os principais fatores que influenciaram o surgimento, em São Paulo, da Política Estadual de Recursos Hídricos e a sua implementação?”

## OBJETIVO E METODOLOGIA

O objetivo deste artigo é uma análise crítica dos processos que levam à formulação de políticas públicas em geral, e, em particular, que contribuíram para a formulação da Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, instituída através da Lei 7663 de 1991, aqui denominada a Lei Paulista das Águas, e de seu princípio da adoção da bacia hidrográfica como a unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento. Procura, ainda, fazer uma análise da implementação desta Política. O artigo utilizou-se de referencial bibliográfico para a análise da área de estudo em políticas públicas buscando apoio,

sobretudo, dos teóricos do ‘neo-institucionalismo’. Foram estudados documentos relativos à legislação e à gestão de recursos hídricos, instrumental que permitiu uma análise comparativa entre os modelos teóricos abordados e fatos históricos que se sucederam, investigando naqueles os conceitos que podem explicar estes e suas consequências para o surgimento da Lei Paulista das Águas.

### PROCESSOS QUE PODEM LEVAR À FORMULAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS

Para entender os processos que podem levar à formulação de políticas públicas em geral, e que contribuíram para o surgimento da Lei Paulista das Águas em particular, o artigo procurou pesquisar a influência de pesquisas, de instituições, de grupos de pressão e de estilos políticos no processo de formulação e implementação de políticas públicas.

#### A pesquisa e a formulação de políticas públicas

No Brasil, a pesquisa em políticas públicas vem ganhando espaço entre os órgãos governamentais e os centros de pesquisa. Ainda que na academia a pesquisa em políticas públicas tenha crescido em qualidade e volume, é escassa a acumulação do conhecimento nessa área de pesquisa como consequência da falta de envolvimento da comunidade de pesquisadores na construção de um programa sistemático de pesquisa. Os estudos sobre políticas públicas existentes concentram-se mais na análise de seu conteúdo do que no processo da sua formulação, da sua implementação e avaliação, tendência que pode reverter-se dado o espaço que se está abrindo para essa discussão em foros científicos (Faria 2003; Souza, 2003).

Entretanto, ainda predomina o papel do Estado que, através de seus órgãos, tem sido o principal protagonista da formulação de políticas públicas. Com efeito, são os órgãos governamentais que dão a maior contribuição para a formulação de políticas públicas, chegando, inclusive, a pautar programas de pesquisa acadêmica. Sem dúvida um personagem importante, é evidente que o Estado pode beneficiar-se de uma relação mais estreita com a sociedade acadêmica e com os centros de pesquisa para a formulação e a implementação de políticas públicas. Estas, nessa relação, passariam a contar com resultados de pesquisas sistemáticas acolhidos pelo Estado, a quem compete propiciar os arranjos institucionais para a sua formulação e implementação.

Por outro lado, discussões e estudos recentes sobre a interface entre ciência e formulação de políticas públicas revelam que o conhecimento gerado resultante de pesquisas não está chegando aos formuladores de políticas de maneira eficiente, o que pode levar a, inclusive, sua não implementação. A dificuldade reside, principalmente, no fato de a comunidade de formuladores de políticas públicas não se identificar explicitamente como um ‘cliente’, fazendo com que o diálogo e os canais de comunicação não sejam os ideais para assegurar um fluxo de informação eficiente.

A importância dessa relação ciência-formulação de políticas é preocupação que não se limita ao Brasil. Em 2002 o Conselho Canadense de Ministros de Meio Ambiente coordenou a organização de um debate sobre a conexão entre a ciência e a política como a chave para atualizar o conhecimento de formuladores de políticas sobre as recentes descobertas de pesquisas na academia e centros independentes de pesquisa (Rosemond et al, 2003).

#### As instituições e a formulação e a implementação de políticas públicas

Além da contribuição da pesquisa, também as normas, os procedimentos, os protocolos, as regras formais ou informais, a cultura e a vida da comunidade política e econômica podem moldar o comportamento dos atores e influenciar a formulação e implementação de políticas públicas (Hall e Taylor, 2003; Souza, 2006). Essas ideias são defendidas pelos modelos propostos pelos teóricos do ‘neo-institucionalismo’, em suas várias vertentes.

#### *O neo-institucionalismo histórico*

O neo-institucionalismo histórico preocupa-se com a maneira como as instituições histórica e socialmente construídas afetam as estratégias, as metas dos atores, a distribuição do poder entre eles e os resultados em termos das decisões políticas (Labra, 1999: 139).

Para os teóricos desta escola de pensamento, a comunidade política e as estruturas econômicas interagem muitas vezes em conflitos, os quais chegam a estruturar o comportamento coletivo e, conseqüentemente, seus resultados. Dão ênfase ao impacto que esses conflitos podem ter sobre o comportamento de instituições e as políticas públicas, e chegam a estruturar as relações entre sociedade civil, legisladores e órgãos governamentais.

Nessa interação, surgem as assimetrias de poder entre as instituições e os comportamentos dos vários grupos de interesse, estes formados por indivíduos com ou sem uma visão estratégica, mas que influenciam as instituições e vice-versa. Por sua vez, as instituições revelam-se possuidoras de um poder de influência superior, exercido de maneira diferente frente aos vários grupos sociais: uns ganham mais que outros.

Além da contribuição das instituições para a determinação de situações políticas e das políticas públicas daí decorrentes, os teóricos do neo-institucionalismo histórico consideram ainda a contribuição dos valores, das ideias, da visão de mundo, dos modelos de comportamento socialmente aceitos e os sentimentos. Neste contexto, o desenvolvimento histórico, através da trajetória percorrida pela sociedade na sua formação, manutenção e reprodução, contribui para os arranjos político-cultural-econômicos estruturados em crenças e valores herdados do seu passado (Hall e Taylor, 2003).

#### *O neo-institucionalismo da escolha racional*

Os teóricos do neo-institucionalismo da escolha racional postulam que os atores se comportam de maneira a satisfazer as suas preferências, revelando conduta estratégica, calculista e utilitária para obtenção de um resultado, mesmo que este não atenda ao interesse público. Muitas vezes essa situação surge da ausência de arranjos institucionais que possibilitariam uma alternativa de comportamento para realizar o interesse da coletividade. Nesse cálculo estratégico, ao pressionar por políticas públicas, os atores também tomam em consideração o comportamento provável de outros.

#### **O neo-institucionalismo sociológico**

Os teóricos do neo-institucionalismo sociológico consideram as práticas associadas à cultura, em contraposição às estruturas burocráticas organizadas, para alcançar eficiência. Definem instituições não só como normas, regras e procedimentos formais, mas também como símbolos, padrões morais e o conhecimento imbuído de significação para guiar a conduta humana. Descrevem a motivação não só através da busca da satisfação pessoal, mas através de modos 'socialmente apropriados'. Sustentam a ideia de que as organizações buscam novas práticas institucionais para aumentar sua legitimidade social, procurando guiar-se por valores reconhecidos num ambiente

cultural mais amplo, ainda que esses colidam com o cumprimento de metas formais.

#### *O aporte dessas correntes do neo-institucionalismo na formulação de políticas públicas*

Ainda que se posicionem como escolas independentes entre si, essas correntes de pensamento são complementares já que seus postulados se interconectam. Todas elas focalizam a relação entre o comportamento de grupos sociais ou indivíduos e as instituições, interagindo e moldando-se. Isso revela o fato de que não só os grupos sociais e os indivíduos influenciam políticas públicas, mas o fazem interagindo com as normas, regras, procedimentos formais ou informais que organizam a vida das instituições.

Conflitos que estruturam o comportamento político e econômico, enfatizados em assimetrias pelo neo-institucionalismo histórico, ocorrem devido ao acesso desigual ao poder e aos recursos escassos. Daí a contribuição do neo-institucionalismo ao estudo das políticas públicas, já que a sua formulação está intimamente relacionada com a administração desses conflitos.

#### **Grupos de interesse e a formulação de políticas públicas**

Outro referencial relevante para a reflexão sobre o processo de formulação de políticas públicas é desenvolvido por Faria (2003) ao destacar a existência de três correntes de atores e de questões no processo de formulação de políticas públicas: (1) atores que identificam informações sobre questões problemáticas e definições por vezes diversas e conflitantes para solucioná-las; (2) atores que propõem soluções para resolver os diferentes problemas através de *policiês* ou políticas públicas; (3) atores que se unem em grupos de pressão, ou em grupos que forcem mudanças junto ao poder legislativo e ao poder executivo e que tendem a pensar e a fazer suas escolhas segundo certos parâmetros comuns, a *politics* ou política.

Essas correntes atuam de forma independente, mas, em ocasiões específicas, interagem e contribuem para mudanças na situação vigente através de políticas públicas inovadoras. Chegam a formar grupos de atores sociais e redes com interesses comuns, através de ideias e do conhecimento, dando relevante contribuição para a formulação de políticas públicas. Muitas de suas ações se transformam em *advocacy coalitions*, ou coalizões defensoras de determinados temas merecedores de intervenção, quase sempre influenciadas pelas *comuni-*

*dades epistêmicas*, detentoras de ideias e conhecimentos. Trata-se de grupos “com *expertise* e competência reconhecida em um domínio específico e um *authoritative claim* quanto ao conhecimento relevante às políticas públicas ligadas àquele domínio ou *issue-area*” (Haas, apud Faria, 2003, p: 26). Através do conhecimento e de um conjunto de ideias dele resultante, influenciam a formulação de políticas públicas.

Ao dar maior importância ao conhecimento que resulta em ideias, essa abordagem é distinta daquela mais tradicional que evoca a existência de um ‘triângulo de ferro’ composto de burocratas, políticos e grupos de interesses que monopolizam a formulação de políticas públicas. É também distinta da noção de ‘pentágono de ouro’, que adiciona aos três atores do ‘triângulo de ferro’ as influências exercidas pelos agentes de mercados financeiros globais e pelos atores não governamentais de atuação transnacional.

### **Como estilos políticos influenciam a formulação de políticas públicas**

A importância dos estilos políticos na formulação de políticas públicas, tema desenvolvido por Frey (2000), afeta a dimensão institucional, já que esta obedece a especificidades das diferentes sociedades. No caso do Brasil, o estilo político se traduz naquele próprio de ‘democracias não consolidadas’, no entender deste autor.

Segundo esta abordagem, e retomando conceitos já expostos na seção anterior, as dimensões da análise de políticas públicas podem ser identificadas como a) o conteúdo de uma política ou *policy*; b) a dimensão institucional ou *polity*, que se relaciona com a ordem do sistema político, jurídico e a estrutura do sistema administrativo; e c) o processo político ou *politics*, em geral de caráter conflituoso quanto a interesses e objetivos a serem alcançados. Essas três dimensões podem ou não interagir, mas se completam na interação e uma pode influenciar outra(s). Um exemplo dado é o fato de que a política (*policy*) pode determinar o processo político (*politics*) que por sua vez se baseia em determinado arranjo institucional consolidado e estável (*polity*) contribuindo para o êxito na adequação e implementação da política pública.

Arranjos institucionais estáveis ou instáveis são características de estilos políticos diferentes. No Brasil, mudanças no quadro político levam a rupturas e a transformações radicais das estruturas político-administrativas e a arranjos institucionais instáveis.

Essa instabilidade é consequência de fatores culturais, comportamentais, emocionais, de valores de atores políticos, e moldam as políticas públicas e seus programas. Da mesma maneira, padrões de comportamento público como clientelismo, paternalismo e corrupção chegam a influenciar o processo de formulação e o próprio conteúdo de políticas públicas. Souza (2003) também menciona a programação de tópicos para a pesquisa de políticas públicas a um estilo dominante de governo e a processos políticos. Assim também as ideias cristalizadas com relação à visão que se tem do funcionamento de uma sociedade (extremamente burocratizada, como no Brasil; extremamente organizada, como na Holanda; com predominância de laços familiares, como na Itália; de perseverança nas tradições institucionais e tecnocráticas, como na Alemanha, e assim por diante) podem formar um corpo considerável de tópicos para análise.

### **O SURGIMENTO DA POLÍTICA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE SÃO PAULO E SUA IMPLEMENTAÇÃO À LUZ DA BIBLIOGRAFIA EXAMINADA**

Os modelos sugeridos pela bibliografia estudada conduziram ao exame da cronologia de eventos relativos aos recursos hídricos e dos fatores que os motivaram, com o intuito de chegar a uma análise crítica dos processos alavancadores da Lei Paulista das Águas e de como fatos históricos podem ir moldando ideias e consolidando instituições e políticas.

### **Acontecimentos históricos que antecederam à formulação da Lei Paulista das Águas**

Somente para fins de melhor visualizar os acontecimentos históricos que contribuíram para o surgimento da Lei Paulista das Águas, toma-se aqui o seu principal fundamento como o carro-chefe que conduziu todo o processo: a adoção do recorte geográfico de bacias hidrográficas como unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos dentro de uma Política coerente. Essa preocupação vem de longa data. É o reconhecimento da necessidade de integrar, dentro dos limites da bacia hidrográfica, os vários usos de recursos hídricos para garantir a sua proteção. Assim, a bacia hidrográfica se torna o local ideal para a interação entre as várias atividades que se dão no seu âmbito: agrícolas, industriais, comerciais, domésticas, pastoris, com reflexos na fauna, na flora,

nos agrupamentos humanos e com conseqüências para a vida social, econômica, política e financeira (Porto & Porto, 2008).

Há vários exemplos de acordos político-institucionais para a utilização dos recursos hídricos da bacia hidrográfica. Alguns datam do século XVII, como é o caso do **Tratado de utilização do Rio Danúbio**, firmado em 1º de maio de 1616 e que regulamentou usos e tarifas definidas e cobradas na sua bacia hidrográfica, envolvendo, entre outros países, o Império Austríaco e a Turquia, (Hajnal, 1920). Vários outros tratados se sucederam ao longo do tempo. Um deles, o **Tratado Brasil – Peru**, assinado em 1876, regulamentou o Acordo de Livre Navegação do Rio Iça ou Putumayo na Bacia Amazônica. Em seqüência, em 1909, foi realizada a assinatura do **Tratado de Limites e Navegação Bilateral**, pelo qual foi negociado o restante da fronteira com o Peru, correspondente ao território do atual Estado do Acre (Brasil, Ministério das Relações Exteriores, s.d). Sucessivamente vão surgindo arranjos institucionais tendo por foco a bacia hidrográfica como é o caso do **Pacto do Rio Colorado**, assinado em 1922, que tinha por objetivo distribuir mais equitativamente o uso dos recursos hídricos no chamado Sistema do Rio Colorado e estabelecer a importância relativa dos diferentes usos ‘benéficos’ da água, promovendo a boa vizinhança entre os estados, além de outros benefícios para a população presente e futura.<sup>1</sup>

Esses são apenas alguns exemplos, estabelecidos em contextos diferentes e distantes uns dos outros no tempo, desencadeados a partir da necessidade da resolução de conflitos e das relações de boa vizinhança, nacionais e internacionais, e que pretendiam alcançar objetivos estratégicos. Conferiram aos contornos da bacia importância mais significativa que os contornos político-administrativos e sugeriram a adoção de política específica.

No Brasil, a preocupação com o gerenciamento de recursos hídricos culminou com a promulgação do Código das Águas, em 1934. Este estabeleceu um ordenamento jurídico para o uso das águas, com normas claras para o aproveitamento dos cursos d’água, especialmente para geração de energia. Mas somente na década de 1960 são iniciadas as experiências de gestão por bacias hidrográficas, com os primeiros **Planos de Desenvolvimento de Bacias Hidrográficas**

**no Nordeste Brasileiro**, realizados pela SUDENE como resposta à seca no Nordeste do país.

Nessa mesma década, foi promulgada a Lei das Águas na França que ordenou o território daquele país em bacias hidrográficas (Machado, 2003). A Lei Francesa teve caráter inovador, já que favorecia a descentralização, a participação e a integração na gestão dos recursos hídricos nas bacias. O sistema é controlado pelo governo central, no que tange às grandes diretrizes, e é supervisionado regionalmente no âmbito das Regiões Hidrográficas pelos Comitês Colegiados, auxiliados técnica e financeiramente pelas Agências da Água. É descentralizado pela atuação dos departamentos e comunas, que executam as ações de interesse local, diretamente ou por contrato. Há um controle direto sobre a execução dos serviços, num sistema descentralizado em cerca de 36.000 autoridades locais e comunas, que podem se organizar em consórcios. Estes podem decidir inclusive sobre a prestação de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, ainda que dominado por empresas privadas (Lanna, 1995). Depois da promulgação da nova Lei das Águas na França, em 1992, permanece como fundamental o princípio básico da interação entre os diversos usos da água numa bacia hidrográfica e os problemas que daí podem decorrer. A existência de um poder deliberativo e decisório nas bacias hidrográficas mais importantes tem mais peso que o poder exercido pelos entes administrativos. A Lei Francesa é, sem dúvida, fonte de inspiração para os arranjos que se formularam para a gestão de recursos hídricos em São Paulo.

Porto e Porto (2008) relatam vários outros acontecimentos no Brasil, precursores do surgimento da Lei Paulista das Águas. Alguns desencadeados devido à complexidade dos problemas relacionados ao uso de recursos hídricos e tendo em vista melhorar as condições prevalentes nas bacias hidrográficas. Muitos desses eventos dão origem à criação de comitês de estudos e de comitês de bacias hidrográficas, que, ainda que de forma incipiente, constituíram importante marco para o surgimento da Lei Paulista das Águas e dos caminhos que tomou a gestão de recursos hídricos no estado de São Paulo e em seguida no Brasil. Reuniões motivadas pelo crescente consumo de água no mundo, dada a pressão dos diferentes usos em muitas áreas, o que já delineava o surgimento de uma crise da água, sugeriram ações de gerenciamento integrado dos recursos hídricos. Grande avanço foi dado pela organização da Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), fundamental para os

<sup>1</sup> Colorado River Compact 1922: [http://www.colorado.edu/colorado\\_river/docs/CO%20River%20Compact.pdf](http://www.colorado.edu/colorado_river/docs/CO%20River%20Compact.pdf)

estudos e debates sobre a institucionalização do Gerenciamento dos Recursos Hídrico e a adoção da bacia hidrográfica como o recorte ideal para este gerenciamento. Surgiram então várias experiências em gestão por bacias hidrográficas na década de 1980 no Brasil.

Em São Paulo, esse processo motivou a criação, em 1987, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos e do Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos (Governo do Estado de São Paulo, 2000). Entretanto, essas instâncias não tinham a participação de outras partes interessadas, além dos órgãos governamentais. Assim, é sem dúvida fundamental a contribuição da Constituição Federal de 1988 para a gestão dos recursos hídricos orientada pela descentralização, participação e integração, realizáveis através da gestão por bacias hidrográficas e seus órgão de decisão: os Comitês de Bacias, instância que passa a ter a representação também da sociedade civil. Este acontecimento marca a mudança institucional e formal de um modelo de gestão centralizado e setorial, para um modelo democrático.

Os debates promovidos pela ABRH tornam-se cada vez mais importantes no estabelecimento da relação entre os resultados de pesquisa na academia e nos centros independentes de pesquisa e a sociedade brasileira em geral. A divulgação dos princípios e diretrizes do gerenciamento dos recursos hídricos e as manifestações da ABRH influenciaram os debates sobre a responsabilidade simultânea pela política de geração de energia elétrica e pela administração e gestão de recursos hídricos.

Em outubro de 1989, com a promulgação da **Constituição do Estado de São Paulo**, fica estabelecido, na Seção II ‘Dos Recursos Hídricos’, em seu artigo 205, que o “Estado instituirá, por lei, o sistema integrado de gerenciamento dos recursos hídricos, congregando órgãos estaduais e municipais e a sociedade civil, e assegurará meios financeiros e institucionais para a gestão descentralizada, participativa e integrada em relação aos demais recursos naturais e às peculiaridades da respectiva bacia hidrográfica” (Governo do Estado de São Paulo, 1989), passo importante para a formulação da Lei Paulista das Águas nesses moldes.

Novas experiências de gerenciamento por bacias hidrográficas surgem com diferentes intuitos: o de promover a recuperação ambiental dos rios, a integração regional e o planejamento do desenvolvimento da bacia, o de regular o uso da água,

sobretudo em tempos secos e o de resolver conflitos entre os diferentes usos. Cresce a demanda por uma política coerente e concisa que atenda a estes casos e, em 1991, é promulgada, no Estado de São Paulo, a Lei 7663, que estabelece normas de orientação à **Política Estadual de Recursos Hídricos**, a Lei Paulista das Águas, bem como ao **Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Trata-se de uma das primeiras políticas estaduais, para atender, sobretudo, o gerenciamento de problemas no estado e do abastecimento na Região Metropolitana densamente povoada.

### As condições para o surgimento da Lei Paulista das Águas

Esses acontecimentos históricos moldaram ideias e sugeriram a necessidade de organizar estruturas sociais para recebê-las, tal como enunciado pelo *neo-institucionalismo*. Este modelo aponta para a convergência entre os vários atores que formam a sociedade civil, econômica, política e acadêmica em interação para atingir seus objetivos estratégicos, imbuídos de valores e crenças. No caso da Lei Paulista das Águas, esses atores, principalmente conduzidos pela comunidade de *experts* que desenvolveram ideias e estruturaram sua influência na formulação de legislação apropriada, procuraram estabelecer o canal entre ciência e política, propiciado em foros nacionais e internacionais onde encontraram espaço para debate os cientistas vinculados à academia, a centros de pesquisa e a organizações de governo e da sociedade civil. Na sucessão desses acontecimentos históricos, a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos surgiu como tema que conduziu o debate sobre a necessidade de uma política coerente respondendo assim ao chamado de pesquisadores e dos grupos interessados na resolução de problemas específicos e na tomada de decisões políticas para a sua solução. Os processos que emanaram dos acontecimentos históricos podem ser sintetizados nas seguintes **condições para a formulação de políticas**:

1. **Sucessão de acontecimentos históricos** que confirmam a importância de determinado tema (no caso a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos), trabalhado e pesquisado em diversos círculos da organização social, e que passa a sugerir a formulação de política pública que o adote.

2. **Comunidade política em interação com estruturas econômicas**, muitas vezes a partir de conflitos, contribui para que se estabeleçam políticas, regulamentos, tratados, para alcançar objetivo estratégico.
3. **Comunidades de experts desenvolvem conhecimentos que resultam em ideias**, estruturam a influência na formulação de políticas públicas e estabelecem o canal ciência - política.
4. **Grupos de pressão** forçam mudanças no poder legislativo e executivo.
5. **Grupos de atores sociais** reunidos em associações formalmente organizadas formam verdadeiras coalizões que defendem interesses comuns.
6. **Novas instituições** disseminam novas normas, regras e procedimentos, revelando um estilo político aberto a inovações.
7. **Conflitos e problemas específicos** de determinadas áreas aceleram o surgimento de políticas para conduzir a soluções consensuais.

As indicações que se pode extrair dos modelos sugeridos pela bibliografia para análise do surgimento de políticas públicas e as condições acima enumeradas são nitidamente complementares no caso da formulação da Lei Paulista das Águas, não havendo, portanto, a influência de uma só condição. Com efeito, a cronologia de eventos internacionais, nacionais ou regionais (condição 1 acima), aqui apresentada como exemplo, abre espaço para que se dê a condição 2. Já a pesquisa e a atuação da ABRH contribuem para as condições 3, 4, e 5, dando lugar à identificação de normas, regras e procedimentos que influenciam a criação de novas instituições, tal como sugerido pela condição 6. Em São Paulo, a criação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, de consórcios e de comitês contribuiu para a divulgação de ideias inovadoras, abrindo espaço para a formulação da Lei Paulista das Águas e da inovadora adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento de gerenciamento dos recursos hídricos. A condição 7 contribuiu também para outra lei estadual inovadora, a Política Estadual de Recursos Hídricos do Ceará, instituída em 1992. Esta surgiu como resposta ao problema da escassez hídrica de origem climatológica na região, enquanto a Lei Paulista das Águas foi motivada principalmente pela escassez hídrica, derivada do excesso de uso decorrente do grande número de usuários e a conseqüente necessidade de transposi-

ção de outras bacias para garantir a disponibilidade hídrica, como é o caso da Região Metropolitana de São Paulo. Ambas as situações podem ser fonte de freqüentes conflitos.

Uma vez formulada a Lei Paulista das Águas, é importante avaliar como se dá a sua implementação.

### As condições para a implementação da Lei Paulista das Águas

Nesta seção é analisada a implementação da Lei Paulista das Águas, focalizando seu princípio da adoção da bacia como unidade de planejamento e gerenciamento.

Há muitas vantagens nessa abordagem: delimitação natural de área, possibilidade de quantificação de impactos, promoção de integração dos dados produzindo condições adequadas para interferirem no sistema de proteção ambiental, delimitação e regulamentação dos usos, e execução de prognósticos para futuras ações de planejamento e gestão<sup>2</sup>. Consiste de um espaço integrador de processos naturais e antrópicos, criando uma interdependência entre usos e usuários da água. Estes interagem em um processo dinâmico, que dá vida a todo um sistema sócio-econômico-político dentro dos limites da bacia e influenciando áreas externas a ela (Viegas Filho, 2006).

Entretanto, apenas o reconhecimento da importância da adoção da bacia hidrográfica como a unidade de planejamento e gerenciamento está longe de ser suficiente para implementar este princípio em sua totalidade. Para que isto não seja simplesmente um arranjo institucional-burocrático, é necessário que os três mecanismos previstos na Lei Paulista das Águas sejam operacionais: o Plano Estadual de Recursos Hídricos, o Fundo Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Faria Gouveia e Carneseca, c.2005).

Ainda que a Lei Paulista das Águas explicitasse esses mecanismos assim como seus instrumentos (outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos, infrações e penalidades, cobrança pelo uso dos recursos hídricos e rateio do custo de obras) persistem entraves para a sua implementação. Um exemplo de entrave é o fato da Lei Paulista das Águas, ao contrário da Lei Federal, ter estabelecido o Plano como Lei. Esse

<sup>2</sup> José Galizia Tundisi, em *Parabólicas Reportagem*, disponível em <http://www.socioambiental.org/website/parabolicas/edicoes/edicao35/reportag/pg8.html>

mecanismo de gestão exige processo de articulação, o que pode melhor garantir a sua implementação do que somente o uso de mecanismos de caráter compulsório. No entanto, por ser Lei, o Plano deve ser aprovado pela Assembléia Legislativa do Estado. Dada esta dificuldade, dentro do período de instituição da Lei Paulista das Águas até o presente, apenas um Plano, datado de 1994, foi aprovado e o segundo encontra-se ainda para aprovação pela Assembléia Legislativa do Estado. Podem ser identificados ainda outros entraves, muitos deles apontados por Porto e Lobato (2004) e Porto e Porto (2008) e que correspondem às condicionantes também encontradas na literatura em que se apóia este artigo: os modelos oriundos da escola do neo-institucionalismo e da tênue relação ciência-política, e os grupos de interesse e de estilos políticos decorrentes de aspectos administrativo-burocráticos e culturais. Algumas dessas condicionantes são:

- Ainda que reconhecido como o recorte geográfico mais adequado para a gestão dos recursos hídricos, os limites da bacia hidrográfica não correspondem aos limites administrativos (municípios), criando dificuldades técnicas e legais para o aproveitamento dos recursos hídricos.
- A falta de mudança na estrutura institucional político-administrativa faz com que as decisões na esfera da bacia se justaponham às decisões na esfera do município e do estado. Por outro lado, em geral, não há harmonia entre os vários agentes governamentais e privados quanto ao aproveitamento dos recursos hídricos e prevalecem entraves para empreender a gestão dos recursos hídricos e a gestão territorial de forma conjunta e articulada.
- A tomada de decisões de maneira descentralizada exige transformação institucional e cultural no país, processo demorado, complexo e contrário à cultura de uma sociedade de visão de curto prazo. Ainda que seja um avanço democrático, seu aperfeiçoamento é crucial, pois a descentralização confere legitimidade às decisões. Entretanto, não há garantia da participação de todos e nem que as decisões sejam implantadas. Não é raro que representantes da sociedade civil organizada estejam em menor número que os representantes da esfera estadual e municipal. Esse entrave encontra respaldo na literatura pesquisada quanto à influência de fatores culturais, comportamentais, emo-

cionais e de valores que moldam as políticas e seus programas. Um exemplo importante na maneira como é implantada a Política nos dá a 'cobrança pelo uso da água', importante instrumento de gestão que somente em 2011 será implantado em todas as bacias do estado, quase vinte anos após a sua instituição pela Lei Paulista das Águas.

- A excessiva burocracia do Estado brasileiro resulta em baixa eficácia e altos custos de transação do sistema, revelando um estilo político-administrativo onde falta vontade política.

Esses entraves levam à reflexão sobre a influência de normas, regras e procedimentos, formais ou informais, próprios das instituições de uma sociedade, tal como referido pelo neo-institucionalismo e pelas ideias sobre a influência do estilo político predominante. São entraves gerados pela instituição e por um estilo de governar, pautado pela burocracia, por clientelismo e por decisões resultantes de acordos políticos, tão desgastantes no processo de implantação da Lei Paulista das Águas.

Outro exemplo da influência da instituição dificultando a implementação tem a ver com o fato de a Lei Paulista das Águas ter encontrado inspiração também na Lei Francesa das Águas, que data de 1964, já mencionada em capítulo anterior. No Brasil, ao contrário da França, não só a estrutura político-administrativa é dominada pelo sistema federativo como também o estilo político adotado favorece a autonomia dos municípios que integram a bacia e que podem diferir quanto ao seu uso predominante e às suas prioridades, definidas em planos legislativos e do poder executivo municipal.

Como são tênues os canais de comunicação entre os resultados de pesquisa e a formulação de políticas, a implementação destas encontra entraves já que muitas vezes priorizam aspectos simplesmente técnicos, o que é insuficiente para a implantação de uma boa gestão na bacia hidrográfica. Porto e Lobato (2004) sugerem que devem estar presentes: (i) os instrumentos tradicionais de comando e controle, próprios da operação centralizada no Aparelho de Estado; (ii) a construção de consensos sociais, na definição de objetivos e no estabelecimento de planos de intervenção, o que exige modelos institucionais para a gestão compartilhada de responsabilidades; (iii) a esfera dos chamados instrumentos econômicos de gestão, cuja natureza de indução descentralizada do comportamento ambiental também implica em

arranjos institucionais de responsabilidades compartilhadas; e (iv) o campo dos mecanismos de adesão voluntária, geralmente baseados em certificações da qualidade dos processos e das formas ambientalmente corretas de produção, mais próprio ao espaço decisório dos agentes privados.

## CONCLUSÃO

Apoiado em referencial teórico sobre os atores e processos que favorecem a formulação de políticas públicas em geral, o artigo procurou analisar quais deles explicam o surgimento da Política Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo, a Lei Paulista das Águas. A principal conclusão a que se chegou é que os processos e seus protagonistas são de várias naturezas, não havendo, portanto, somente uma condição que favoreceu o surgimento da Lei Paulista das Águas.

A linha histórica traçada mostra que o caminho percorrido pela noção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão, considerada neste artigo o carro-chefe condutor do processo de formulação da Lei Paulista das Águas, tanto na esfera internacional como na nacional, foi marcado por um processo progressivo e acumulativo de conhecimentos e de experiências inspiradoras. A literatura estudada foi importante para orientar a busca desses condicionantes e atores que acompanharam o processo histórico. Esses fatores se mesclam e se interconectam em um universo de influências, descritas acima como situações específicas de algumas áreas que podem gerar conflitos e divergência de interesses; existência de uma comunidade política atuante e de

grupos de *experts*; grupos de interesse e de pressão; resultados de pesquisas debatidos em foros nacionais e internacionais; atores sociais que chegam a formar *advocacy coalitions* com interesses comuns reunidos em associação formalmente organizada; criação de novas organizações abrindo espaço para novos arranjos institucionais.

O artigo discute, ainda, as condições que dificultam a implantação da Lei Paulista das Águas e de seu princípio, a adoção da bacia hidrográfica como unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento. Essas condições são a ausência de uma estrutura institucional político-administrativa; a ausência de harmonia entre os vários agentes governamentais e privados quanto ao aproveitamento dos recursos hídricos; as dificuldades de empreender a gestão dos recursos hídricos e a gestão territorial de forma conjunta e articulada; a transformação em aspectos da cultura da tomada de decisões no país e visão de curto prazo; a falta da garantia da participação de todos e sua qualificação para a tomada de decisões; a dificuldade de implantação das decisões tomadas de maneira descentralizada; a dificuldade da implantação da cobrança pelo uso da água, importante instrumento de gestão previsto em Lei; o estilo político predominante caracterizado pela excessiva burocracia do Estado e a ausência de um canal 'ciência-política pública' mais operante. Tal como sugerido pela corrente de pensamento do neo-institucionalismo, não somente grupos sociais e indivíduos influenciam políticas públicas, mas o fazem interagindo com as normas, regras, procedimentos formais ou informais que organizam a vida em sociedade.

## Referências

- FARIA, Carlos Aurélio Pimenta de. 2003. Ideias, conhecimento e políticas públicas: um inventário sucinto das principais vertentes analíticas recentes. *Rev. bras. Ci. Soc.* [online]. vol.18, n.51, pp. 21-30.
- FREY, Klaus. 2000. Políticas públicas: um debate conceitual e reflexões referentes à prática da análise de políticas públicas no Brasil. In: *Revista de Planejamento e Políticas Públicas*. IPEA, Brasília. Número 21, pp: 211-259.
- GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1989. Constituição do Estado de São Paulo.
- GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO e CRH. 2000. Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, junho de 2000. Disponível em [http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/basecon/r0estadual/r0e\\_index.htm](http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/basecon/r0estadual/r0e_index.htm)
- HALL, Peter e TAYLOR, Rosemary C. R. 2003. As três versões do neo-institucionalismo. *Lua Nova* nº 58 – pp: 193 – 223.
- HAJNAL, Henry. 1920 *The Danube: its historical, political and economic importance*. Martinus Nijhof, Haia.
- Disponível em <http://www.archive.org/stream/danubeitshistori00hajnuoft#page/n5/mode/2up>
- LABRA, Maria Elena 1999. Análise de Políticas, Modos de Policy-Making e Intermediação de Interesses: uma Revisão. In: *PHYSIS: Revista de Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, 9(2): 131-166.

- LANNA, A. E. L. 1995. Gerenciamento de Bacias Hidrográficas: Aspectos Conceituais e Metodológicos. IBAMA, Brasília.
- MACHADO, C. J. S. 2003. A Gestão Francesa de Recursos Hídricos ; Descrição e análise dos princípios jurídicos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos RBRH. Vol 8. n. 4 Out/Dez 2003, 31 – 47.
- PORTO, M. F. A.; LOBATO, F. 2004. Mechanisms of Water Management: Command & Control and Social Mechanisms. REGA. Revista de Gestão de Águas da América Latina, v. 2, n. 2, p. 113-129.
- PORTO, M. F. A e PORTO, R. L. L. 2008. Gestão de Bacias Hidrográficas. Revista Estudos Avançados, v.22 (63), p. 43-60.
- ROSEMOND, S, KENT, R, MURRAY, J e SWAIN, L. 2003. Experts Workshop on Water Quality Monitoring: The Current State of the Science and Practice. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, Manitoba. CCME Linking Water Science to Policy Workshop Series. Report No. 5.
- SOUZA, Celina 2003. 'Estado do Campo' da pesquisa em políticas públicas no Brasil. In: Revista Brasileira de Ciências Sociais, Vol. 18 nº 51, pp 15-20.
- SOUZA, Celina. 2006. Políticas Públicas uma revisão da literatura. In: sociologias, Porto Alegre, Ano 8. nº 16, pp. 20-45.
- VIEGAS FILHO, João Soares. 2006. A Gestão dos Recursos Hídricos e o Papel das Microbacias nesse contexto. In: II Simpósio Nacional sobre o Uso da Água na Agricultura de 2006, Passo Fundo.Universidade de Passo Fundo, v. CD.

**Maria Lucia G. Borba** Socióloga, Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Ciência Ambiental (PROCAM) da Universidade de São Paulo; Mestre em Ciência Ambiental (PROCAM/USP). E-mail: mlborba@usp.br

**Monica F. A. Porto** Engenheira, Professora Titular, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. E-mail: mporto@usp.br

# Requ

## Eficiência de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em municípios do estado do Rio Grande do Sul/Brasil

Vanessa Sari, Lília Mayumi Kaneda Seeger

Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva, Ana Lúcia Denardin da Rosa

**RESUMO:** Essa pesquisa apresenta um estudo da eficiência (proporção do tempo em que o reservatório atende a demanda) de sistemas de aproveitamento pluvial para 30 estações pluviométricas pertencentes a 16 municípios do estado do Rio Grande do Sul/Brasil. A metodologia proposta oferece uma visão interligada da influência dos diferentes constituintes do sistema de aproveitamento (volume do reservatório, área de captação e demanda), simulando o comportamento deste como um todo. A hipótese do trabalho admitiu atividades de uso não potável em indústrias de bebidas, bacias sanitárias de residências uni e multifamiliar e lavagem de veículos em postos de combustíveis, com a utilização de diferentes áreas de captação e volumes comerciais de reservatórios. Os resultados individuais para as eficiências dos sistemas de cada uma das 30 estações revelou um comportamento muito semelhante àquele obtido pela utilização dos valores médios das eficiências. Existe um crescimento das eficiências (individuais e médias) em função do aumento do volume de armazenamento do reservatório (considerando-se a área constante) e em função do aumento da área de captação (considerando-se o volume constante). Já a variação da eficiência média (diferença entre um dado valor de eficiência e seu valor subsequente) diminuiu com o aumento da área para um volume constante em quaisquer das demandas simuladas. Entretanto, o mesmo não se pode afirmar a respeito dessa variação em relação ao aumento do volume para uma área constante, pois se por um lado existe uma tendência de diminuir essa variação com o aumento do volume nas demandas em residência multifamiliar e em indústria, por outro, não existe uma tendência no caso da demanda em residência unifamiliar e postos de combustíveis. O método apresentado possibilita a visualização gráfica da eficiência a ser obtida nos sistemas de aproveitamento para determinada área de captação, volume de reservatório e demanda já implantada. Permite ainda, verificar as dimensões a serem projetadas em termos de área de captação e volume de armazenamento, conhecida a demanda, para que se consiga atingir uma determinada eficiência pretendida. Os critérios apresentados e discutidos mostraram-se adequados resultando em eficiências consideravelmente satisfatórias ao atendimento parcial das demandas para fins não potáveis nos municípios analisados.

**PALAVRAS-CHAVE:** aproveitamento de águas pluviais; eficiência do sistema de aproveitamento.

**ABSTRACT:** This paper presents a study of the efficiency (proportion of time the tank supplies the demand) of rainwater utilization systems for 30 pluviometric stations belonging to 16 cities in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. The proposed methodology offers a view of interconnected influences of different constituents of the rainwater utilization system (tank volume, catchment area and demand), simulating its behavior as a whole. The hypothesis of the study admitted activities of non-potable uses in a beverage industry, flushing toilets of single and multifamily housing and washing of vehicles at gas stations, with the use of different catchment areas and commercial tank volume. Individual results for the efficiencies of the systems for each of 30 stations showed a behavior very similar to that obtained by the use of average values from the efficiencies. There is an efficiency growth (individual and average) as a function of the increase of the tank volume, (assuming a constant catchment area) and in function of the increase of the catchment area (assuming a constant tank volume). On the other hand, the average efficiency variation (the difference between a given value of efficiency and its subsequent value) decreased with an increasing catchment area for a constant storage volume in any of the simulated demands. However, we cannot assure this change in relation to the volume increase for a constant catchment area, because even presenting a tendency to decrease this variation with the increasing storage volume for the demands in multifamily residence and industry, there is no tendency in the case of demand in single-family residences and gas stations. The method presented here permits to know the efficiency of the system for a known demand, a catchment area and a tank volume already implanted. We can also check the dimensions to be projected (catchment area and storage volume) for a specific demand and efficiency of the system. The criteria presented and discussed were adequate, resulting in considerable and satisfactory efficiencies to attend part of the demands for non-potable purposes in the cities analyzed.

**KEYWORDS:** rainwater utilization, efficiency of the utilization system.

## INTRODUÇÃO

Ao se considerar os desafios que afrontam os diversos países na luta pela garantia de um desenvolvimento econômico e social sustentável, a temática “ÁGUA” emerge como um ponto central de qualquer pauta. Escassez de água, deterioração da sua qualidade e impactos das inundações estão entre os problemas que requerem maior atenção e ação imediata (Agarwal et al, 2000).

Fica então evidente a urgência da adoção de uma abordagem integrada e sustentável na gestão hídrica, que busque e viabilize fontes alternativas de suprimento aos fins menos nobres de sua utilização, uma necessidade básica em meio à priorização do uso da água disponível para garantir o atendimento do abastecimento público.

De fato, entre essas alternativas, o aproveitamento pluvial destaca-se por sua simplicidade e economia, concretizando-se como um dos meios viáveis de preservação desse recurso; além de contribuir para o controle de enchentes, um grave problema dos locais com amplas áreas impermeáveis (Anneccchini et al, 2006).

Os sistemas de aproveitamento pluvial podem ser definidos como aqueles que captam a água da superfície na qual ela escoar, encaminham-na para um tratamento (quando necessário), para uma reserva e posterior uso (Peters, 2006). Conforme Tomaz (2003), a economia de água pública estimada pela utilização desses sistemas é de aproximadamente 30%.

Uma das dificuldades nessa modalidade de captação está justamente em projetar estruturas para coleta e armazenamento, de maneira a evitar o super dimensionamento no tamanho dos reservatórios ou na área de captação utilizada, bem como, a subutilização do sistema (Oliveira, 2004).

Boers e Ben-Asher (1982) relatam que o sucesso de um sistema de aproveitamento da água da chuva está relacionado, sobretudo, à quantidade de água captável pelo sistema e essa, por sua vez, **varia conforme** os componentes desse sistema (área de captação e volume de armazenamento), o índice pluviométrico da região e o coeficiente de escoamento superficial.

Para Anneccchini et al (2006) a adequada identificação da demanda a ser satisfeita, a correta escolha do tipo de reservatório de armazenamento, bem como, o cálculo das dimensões mais apropriadas para esse reservatório, são também fatores fundamentais ao

dimensionamento do sistema e à garantia da viabilidade técnica e econômica do projeto.

O dimensionamento oriundo de métodos tradicionais – baseados no conceito de regularização de vazão – em geral, leva ao super dimensionamento dos reservatórios de armazenamento e, por consequência, à inviabilidade construtiva desses sistemas. Métodos alternativos como aqueles que priorizam o máximo aproveitamento das águas no período mais chuvoso revelam-se, portanto atraentes e viáveis ao dimensionamento de tais sistemas de aproveitamento; sobretudo quando o uso da água captada destina-se ao elevado consumo industrial, traduzindo-se em uma considerável economia e rápido retorno do investimento realizado (Mierzwa et al, 2007).

Há que se considerar que em tais estudos é importante realizar uma análise da eficiência do sistema de aproveitamento, ou seja, determinar a proporção do tempo em que o reservatório atende a demanda. Além disso, é fundamental conhecer o potencial quantitativo de utilização da água da chuva, bem como, diagnosticar corretamente a demanda por água não potável e os volumes possíveis de serem captados.

Entretanto, a maioria dos trabalhos realizados tem como foco principal o dimensionamento do reservatório e não a análise da eficiência do sistema de aproveitamento como um todo. Alguns exemplos de estudos podem ser encontrados em: Fendrich (2002), Lopes (2002), May (2004), Oliveira (2004), Silva e Tassi (2005), Anneccchini et al. (2006), Jaques et al (2006), Ghisi e Oliveira (2007), Ghisi et al (2007), Mierzwa et al (2007).

Herrmann e Schmida (1999) analisaram a eficiência de sistemas de aproveitamento pluvial em residência uni e multifamiliar na cidade de *Bochum*, Alemanha, apresentando diversos perfis gráficos. Os autores verificaram a viabilidade do aproveitamento em bacias sanitárias e quantificaram a influência desse sistema de aproveitamento sobre o sistema de drenagem urbana. Foram consideradas para efeito de cálculos a eficiência do sistema (porcentagem de água consumida que era proveniente do aproveitamento pluvial) e a eficiência da cobertura (porcentagem de água da chuva disponível para coleta que era efetivamente aproveitada). Os resultados encontrados mostraram que o aproveitamento pluvial reduz o consumo de água potável e minimiza o escoamento em excesso, facilitando o processo de drenagem. E esse benefício é mais significativo quando o sistema é implantado em edifícios com vários andares, em cidades densamente povoadas.

Entretanto, salienta-se que o problema não se resume somente à avaliação quantitativa do sistema, mas também à qualitativa, estando os requisitos de qualidade e segurança sanitária diretamente relacionados ao uso para o qual se destina a água coletada: quando a água é para uso doméstico ela deve atender aos padrões de potabilidade que no Brasil são estabelecidos pela Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, de 25 de março de 2004.

O manual de Conservação e Reúso da Água em Edificações (ANA, FIESP, SINDUSCON-SP, 2005) classifica as águas de reúso em quatro classes, especificando condições mínimas e padrões de qualidade e sugere para os usos em descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais (chafarizes, espelhos de água etc.); lavagem de roupas e de veículos a classe 1, desta legislação.

Por outro lado, a Resolução CONAMA 357/05 (Brasil, 2005) sugere que a água utilizada para fins não potáveis (irrigação de jardins, campos de esporte e lazer), com os quais o público possa vir a ter contato direto, deve atender os requisitos da classe 2.

Com base nas considerações expostas, foi estudado um método alternativo para obtenção do dimensionamento da capacidade de reservatórios de armazenamento de águas pluviais, para fins não potáveis, em função da área de captação, demanda e eficiência do sistema.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Essa pesquisa foi desenvolvida no estado do Rio Grande do Sul/Brasil, contemplando o estudo de 30 estações pluviométricas distribuídas em 16 municípios, conforme apresentado na Figura 1 e Tabela 1.

Foram utilizados registros históricos diários de precipitação, considerando-se como critério de escolha/seleção das estações pluviométricas a existência de séries históricas com um período mínimo de 15 anos de dados e com período de tempo semelhante (séries históricas com registros relativos ao mesmo período). Quanto maior o número de anos da série histórica, melhor será a consideração do período de seca, entretanto, não existe um número de anos ideal.

As regiões analisadas apresentam grande potencial hidrológico e distribuição uniforme das precipitações ao longo do ano, com ausência de estação seca bem definida. A média da precipitação total anual apresenta valores aproximados de 1700 mm.

Além disso, o número de dias consecutivos sem chuva nos municípios em questão (em torno de 61 dias) é bastante inferior a outros locais do Brasil, garantindo que o aproveitamento de água pluvial abastecerá o reservatório praticamente durante todo o ano, o que viabiliza a implantação de sistemas de aproveitamento (Seeger et al, 2007).

A hipótese de trabalho foi utilizar as águas captadas pelo sistema de aproveitamento para satisfazer as demandas de bacias sanitárias em residências unifamiliar e multifamiliar, atividade de lavagem de veículos em postos de combustíveis e uso não potável em indústrias. Essas demandas foram obtidas a partir de padrões médios da região e conforme valores propostos por Tomaz (2003).

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam os parâmetros utilizados para obtenção dos consumos diários em residências unifamiliares e multifamiliar e lavagem de veículos em postos de combustíveis. A demanda industrial foi fornecida por uma empresa de bebidas da região.

Para garantir a qualidade das águas captadas e evitar a contaminação por ação dos elementos presentes na superfície de captação realizou-se o descarte dos primeiros 1,5 mm de chuva coletados, conforme recomendação de Tomaz (2003). Esse procedimento garantiria que as águas mais poluídas (primeiras águas) não sejam utilizadas para consumo.

Os volumes dos reservatórios de armazenamento foram adotados de acordo com os tamanhos comerciais disponíveis ou possíveis de serem obtidos por combinações entre estes, conforme expresso na Tabela 5.

O volume possível de ser captado, por sua vez, foi alcançado mediante o uso da Equação 1 proposta por Azevedo Netto (2002).

$$V = A \times P \times C \quad (1)$$

Sendo:

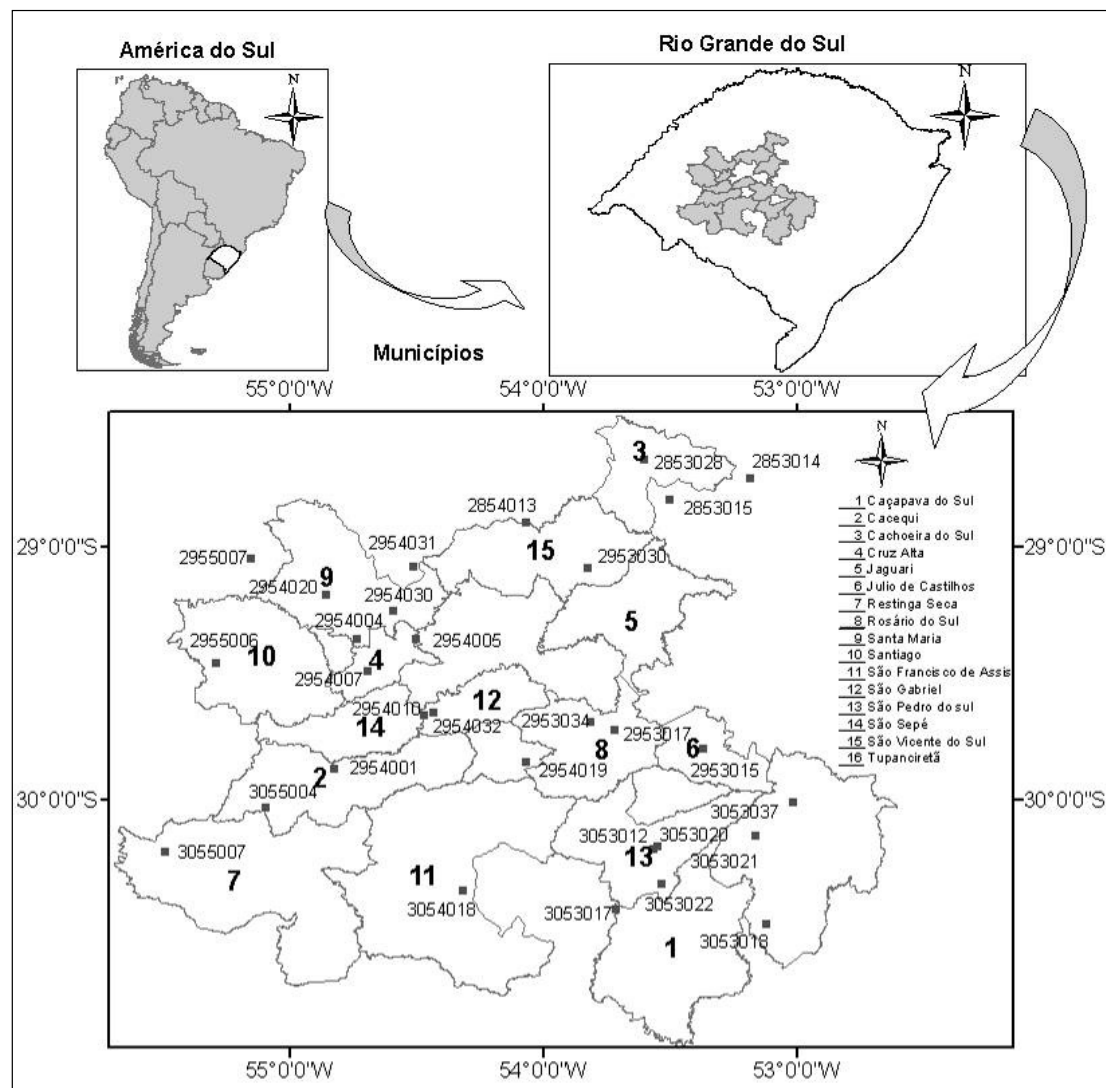
V = Volume possível de ser captado (L)

A = Área de captação (m<sup>2</sup>).

P = Precipitação diária (mm).

C = Coeficiente de Escoamento Superficial (adimensional).

Quando não se dispõe de estudos precisos acerca do Coeficiente de Escoamento Superficial para uma dada área de captação analisada, ele pode ser



**FIGURA 1. Localização dos municípios estudados no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.**

TABELA 1  
Relação dos municípios analisados no estado do Rio Grande do Sul, Brasil

| Código da Estação | Nome da Estação      | Município              | P<br>média anual<br>(mm) | Período<br>de dados<br>(anos) | Período   |            |
|-------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------|------------|
|                   |                      |                        |                          |                               | Início    | Fim        |
| 02853014          | Santa Clara do Ingaí | Cruz Alta              | 1638,85                  | 61                            | 1/9/1944  | 1/12/2005  |
| 02853015          | Três Capões          | Cruz Alta              | 1637,41                  | 19                            | 1/1/1961  | 31/10/1980 |
| 02853028          | Anderson Clayton     | Cruz Alta              | 1957,20                  | 23                            | 1/4/1978  | 31/12/2001 |
| 02854013          | São Bernardo         | Tupanciretã            | 2117,63                  | 22                            | 22/1/1983 | 31/12/2005 |
| 02953015          | Restinga Seca        | Restinga Seca          | 1565,94                  | 26                            | 27/2/1951 | 18/8/1977  |
| 02953017          | Santa Maria          | Santa Maria            | 1717,81                  | 27                            | 1/1/1939  | 31/12/1970 |
| 02953030          | Tupanciretã          | Tupanciretã            | 1792,44                  | 25                            | 1/7/1976  | 31/12/2001 |
| 02953034          | Santa Maria - IPAGRO | Santa Maria            | 1499,91                  | 33                            | 1/1/1963  | 31/12/1996 |
| 02953037          | Passo São Lourenço   | Cachoeira do Sul       | 1696,56                  | 19                            | 1/5/1986  | 31/12/2005 |
| 02954001          | Cacequi              | Cacequi                | 1520,20                  | 62                            | 9/4/1943  | 31/12/2005 |
| 02954004          | Ernesto Alves        | Jaguari                | 1788,32                  | 46                            | 17/7/1959 | 31/12/2005 |
| 02954005          | Furnas do Segredo    | Jaguari                | 1834,67                  | 39                            | 8/8/1966  | 31/12/2005 |
| 02954007          | Jaguari              | Jaguari                | 1770,65                  | 48                            | 1/10/1957 | 31/12/2005 |
| 02954010          | Ponte Toropi         | São Vicente do Sul     | 1462,28                  | 26                            | 20/9/1957 | 31/12/1983 |
| 02954019          | Quevedos             | Julio de Castilhos     | 1772,63                  | 29                            | 16/5/1976 | 31/1/2005  |
| 02954020          | Santiago             | Santiago               | 1934,61                  | 29                            | 1/8/1976  | 31/12/2005 |
| 02954030          | Florida              | Santiago               | 1927,05                  | 22                            | 21/1/1983 | 31/12/2005 |
| 02954031          | Esquina dos Lima     | Santiago               | 2005,22                  | 18                            | 22/1/1983 | 31/12/2002 |
| 02954032          | Ponte Toropi II      | São Pedro do Sul       | 1749,71                  | 21                            | 1/5/1984  | 31/12/2005 |
| 02955006          | Ponte da Miracatu    | São Francisco de Assis | 1694,91                  | 36                            | 23/9/1969 | 31/12/2005 |
| 02955007          | Unistalda            | Santiago               | 1883,48                  | 36                            | 13/9/1969 | 31/12/2005 |
| 03053012          | São Sepé             | São Sepé               | 1386,77                  | 41                            | 28/4/1943 | 31/12/1984 |
| 03053017          | Passo dos Freires    | São Sepé               | 1619,15                  | 24                            | 28/5/1981 | 31/12/2005 |
| 03053018          | Irapuazinho          | Cachoeira do Sul       | 1616,30                  | 22                            | 26/1/1983 | 31/12/2005 |
| 03053020          | São Sepé- Montante   | São Sepé               | 1610,82                  | 21                            | 1/10/1984 | 31/12/2005 |
| 03053021          | Barro Vermelho       | Cachoeira do Sul       | 1636,51                  | 19                            | 29/4/1986 | 31/12/2005 |
| 03053022          | Caçapava do Sul      | Caçapava do Sul        | 1775,13                  | 19                            | 1/4/1986  | 31/12/2005 |
| 03054018          | Ponte São Gabriel    | São Gabriel            | 1575,74                  | 20                            | 1/7/1985  | 31/12/2005 |
| 03055004          | Saica                | Cacequi                | 1601,69                  | 29                            | 1/10/1976 | 31/12/2005 |
| 03055007          | São carlos           | Rosário do Sul         | 1613,66                  | 19                            | 24/4/1986 | 31/12/2005 |

TABELA 2  
Parâmetros de referência para cálculo da demanda em residência unifamiliar

| Residência unifamiliar - bacia sanitária  |                   |
|-------------------------------------------|-------------------|
| Número de habitantes na residência*       | 5 hab             |
| Consumo na bacia sanitária**              | 12 L/descarga     |
| Número de utilização da bacia sanitária** | descargas/hab/dia |

\* Padrões médios da região

\*\* Valores dentro da faixa de referência proposta por Tomaz (2003)

TABELA 3  
Parâmetros de referência para cálculo da demanda em residência multifamiliar

| Residência multifamiliar - bacia sanitária |                      |
|--------------------------------------------|----------------------|
| Número de andares no edifício*             | 4 andares            |
| Número de apartamentos por andar*          | 4 apartamentos/andar |
| Número de habitantes na residência*        | 4 hab/apartamento    |
| Consumo na bacia sanitária**               | 12 L/descarga        |
| Número de utilização da bacia sanitária**  | 6 descargas/hab/dia  |

\* Padrões médios da região

\*\* Valores dentro da faixa de referência proposta por Tomaz (2003)

TABELA 4  
Parâmetros de referência para cálculo da demanda em postos de combustíveis

| Posto de combustível - lavagem de veículos |                 |
|--------------------------------------------|-----------------|
| Número de veículos lavados por dia*        | 25 veículos/dia |
| Consumo de água na lavagem**               | 150 L/veículo   |

\* Padrões médios da região

\*\* Valores dentro da faixa de referência proposta por Tomaz (2003)

TABELA 5  
Volumes comerciais utilizados para reservatório de armazenamento

| Uso                      | Volume do reservatório (L)                |
|--------------------------|-------------------------------------------|
| Residência Unifamiliar   | 500, 1000, 2000, 3000, 5000, 7000 e 10000 |
| Residência Multifamiliar | 7000, 10000, 15000, 20000, 25000 e 30000  |
| Postos de Combustíveis   | 10000, 15000, 20000, 30000 e 40000        |
| Indústria de Cerveja     | 100000, 200000, 400000, 600000 e 800000   |

adotado a partir de valores teóricos pré-estabelecidos em literatura. De acordo com Tomaz (2003), o valor estimado de 0,8 é considerado adequado para esse propósito sendo, portanto adotado nesse trabalho.

As áreas de captação foram variadas dentro de limites aceitáveis construtivamente, permitindo, dessa forma, analisar a influência dessas sobre o sistema de aproveitamento de água da chuva. Na Tabela 6 são apresentadas as áreas de captação utilizadas na simulação para cada tipo de demanda.

Já a análise de simulação do reservatório foi baseada na equação da continuidade, conforme Equação 2:

$$V_t = V_{t-1} + V - D \quad (2)$$

Sendo:

$V_t$  = Volume de água no reservatório no tempo  $t$  (L).

$V_{t-1}$  = Volume de água no reservatório no tempo  $t-1$  (L).

$V$  = Volume possível de ser captado (L).

$D$  = Volume diário demandado (L).

Essa simulação foi executada em planilha eletrônica do Excel<sup>®</sup>, da Microsoft, utilizando equação lógica, que considerou as hipóteses do reservatório estar cheio, vazio ou parcialmente cheio. Para efeitos de cálculo, neste estudo, o reservatório de armazenamento foi considerado inicialmente cheio.

**TABELA 6**  
**Volumes comerciais utilizados**  
**para reservatório de armazenamento**

| Uso                      | Áreas de captação (m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------|-------------------------------------|
| Residência Unifamiliar   | 70, 100, 150, 200 e 300             |
| Residência Multifamiliar | 300, 500, 700, 1000 e 1500          |
| Postos de Combustíveis   | 500, 1000, 1500 e 2000              |
| Indústria de Cerveja     | 5000, 7000, 9000 e 10000            |

O básico da análise de simulação do reservatório é que ele constitui-se um método por tentativas e erros. Supõe-se conhecido o volume do reservatório, bem como, a demanda. Nesta situação, McMahon (1993) sugere que duas hipóteses básicas devem ser satisfeitas: reservatório cheio no início da contagem do tempo e os dados históricos serem representativos para as condições futuras. Além disso, o método considera que os problemas sazonais e períodos

críticos de seca são ponderados na análise da série histórica.

A partir dessa análise foi possível identificar os dias falhos consecutivos, ou seja, o maior período em que o sistema não atendeu a demanda e houve a necessidade de suprimento externo, bem como, os dias falhos totais, obtidos pelo somatório de todos os dias falhos ao longo das séries analisadas.

A probabilidade de falha é a relação entre o número de dias que o reservatório não atendeu a demanda (dias falhos totais) e o número total de dias da série histórica analisada e pode ser expresso pela Equação 3.

$$P_F = \frac{Dft}{Td} \cdot 100 \quad (3)$$

Sendo:

$P_F$  = Probabilidade de falha do sistema (%).

$Dft$  = Dias falhos totais (dias).

$Td$  = Número total de dias da série (dias).

A eficiência por sua vez, representa a proporção do tempo em que o reservatório atende a demanda. Para McMahon (1993) ela pode ser entendida como o complemento da falha sendo, portanto expressa pela Equação 4.

$$E = 100 - P_F \quad (4)$$

Sendo:

$E$  = Eficiência do sistema (%).

$P_F$  = Probabilidade de falha (%).

Foram realizadas simulações com diferentes volumes para um mesmo valor de área de captação. A seguir alterou-se a área para os mesmos valores de volumes utilizados anteriormente, obtendo-se graficamente a relação volume x eficiência do sistema de aproveitamento para cada área e demanda. Esse processo foi realizado para as diferentes estações pluviométricas estudadas.

Para cada demanda procedeu-se então, os cálculos das eficiências médias do sistema de aproveitamento pluvial e dos desvios padrões dessas eficiências em relação à média. Esse cálculo foi realizado para cada área de captação determinando-se,

para cada volume estudado, a eficiência média das 30 estações.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O consumo médio calculado para utilização em bacias sanitárias foi de 360 L/dia para residência unifamiliar e 4608 L/dia para multifamiliar. Já a demanda média obtida para o processo de lavagem de veículos foi de 3.750 L/dia e o consumo em indústrias foi de 50.000 L/dia; sendo que a análise da eficiência para cada uma dessas demandas revelou índices comportamentais semelhantes entre as estações pluviométricas.

Assim, em decorrência do número de estações estudadas (30 estações), da extensa análise em termos de variações de área de captação e volume de armazenamento para cada uma das demandas consideradas no estudo e, particularmente, em razão da existência de semelhança na eficiência do sistema; optou-se aqui por demonstrar os resultados (por estação pluviométrica) obtidos para as simulações em residência unifamiliar.

A Tabela 7 apresenta os resultados da eficiência do sistema para cada uma das 30 estações, considerando demanda em residência unifamiliar. A título de exemplificação: para a área de 100 m<sup>2</sup> e volume de 3.000 L o valor da eficiência variou entre 52,87% e 68,60%, ou seja, encontrou-se uma eficiência média de 61,65% e desvio padrão de 3,61.

Percebe-se, ainda, que existe um crescimento da eficiência em função do aumento do volume de armazenamento do reservatório considerando-se a área constante (observar valores entre duas linhas subsequentes de uma mesma coluna). Da mesma forma, visualiza-se um crescimento da eficiência em relação ao aumento da área de captação quando se considera o volume de armazenamento constante (observar valores da eficiência para áreas diferentes e mesmo volume do reservatório).

Já na Tabela 8 estão dispostos os valores médios da eficiência do sistema e o desvio padrão encontrados, considerando demanda em residência unifamiliar.

Os resultados demonstram um comportamento semelhante ao descrito no parágrafo anterior: a eficiência média do sistema cresce com o aumento do volume para uma área constante (observar valores entre duas linhas subsequentes em uma mesma coluna da tabela) e com o aumento da área para um volume constante (observar valores entre duas colunas subsequentes em uma mesma linha).

O desvio padrão das eficiências do sistema para as 30 estações em relação à eficiência média cresce com o aumento da área para um volume constante de até 3.000 L e diminui para volumes entre 5.000 L e 10.000 L. Considerando-se área constante e volume variável, o desvio padrão cresce com o aumento do volume para áreas de 70 m<sup>2</sup> e 100 m<sup>2</sup>, já para áreas de 150 m<sup>2</sup> a 200 m<sup>2</sup> ocorre um crescimento para volumes até 3.000 L e um decréscimo para volumes entre 5.000 L e 10.000; enquanto que para área de 300 m<sup>2</sup> o desvio aumenta até o volume de 2.000 L e diminui entre 3.000 L e 10.000 L.

Já a variação da eficiência média (diferença entre um dado valor de eficiência e seu valor subsequente) diminui com o aumento da área para um volume constante, oscilando em torno de 1,16% a 16,65% (observar valores entre colunas subsequentes em uma mesma linha da tabela).

Entretanto, quando se analisa a diferença entre as eficiências médias para área constante e diferentes volumes de armazenamento (observar valores entre linhas subsequentes em uma mesma coluna da tabela) não é possível estipular um padrão nessa variação, pois inicialmente há um crescimento da diferença entre as eficiências médias para após ocorrer uma diminuição.

Na Figura 2 visualiza-se um crescimento logarítmico da eficiência média em função do aumento dos valores da área de captação e volume de armazenamento do reservatório. Volumes de 500 L implicaram índices de eficiência médias superiores a 25,99%, independente da área considerada. Já reservatórios de 3.000 L alcançaram resultados superiores a 51,88%, atingindo-se 97,38% de eficiência média quando da utilização de 10.000 L e área de captação de 300 m<sup>2</sup>.

Destaca-se, entretanto, que o crescimento da eficiência média em função do aumento do volume torna-se menos significativo para volumes superiores a 7.000 L com área de captação constante, tendendo a estabilidade (observar que a curva gráfica torna-se mais amena a partir desse volume). Em contrapartida, mantendo-se o volume constante, percebe-se que a variação da eficiência média é mais expressiva para uma elevação de área entre 70 m<sup>2</sup> e 150 m<sup>2</sup> e menos representativo para valores acima deste último.

A Tabela 9 mostra as eficiências médias e os desvios padrões encontrados para a demanda em residência multifamiliar (4608 L/dia).

TABELA 7  
Relação das eficiências do sistema para demanda em residência unifamiliar

|          |          | Demanda = 360 L |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |       |       |
|----------|----------|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|
| Estação  | Volume   | Área = 70 m²    |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |       |       |
|          |          | Eficiência      |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |       |       |
| 029S3034 | 029S3017 | 030S3022        | 029S4001 | 030S5004 | 029S3037 | 030S3018 | 030S3021 | 028S3014 | 028S3015 | 028S3028 | 029S4004 | 029S4005 | 029S4007 | 029S4019 | 029S3015 | 030S5007 | 029S4020 | 029S4030 | 029S4031 | 029S5007 | 029S5006 | 030S4018 | 029S4032 | 030S3012 | 030S3017 | 030S3020 | 029S4010 | 028S4013 | 029S3030 |       |       |
| 0,50     | 24,33    | 25,98           | 27,40    | 23,31    | 22,52    | 26,69    | 23,84    | 26,60    | 25,72    | 27,02    | 28,73    | 26,63    | 26,92    | 26,47    | 27,56    | 25,52    | 23,61    | 27,62    | 27,48    | 28,73    | 25,76    | 24,46    | 24,68    | 25,87    | 20,19    | 25,48    | 25,57    | 29,23    | 28,90    | 26,91 |       |
| 1,00     | 35,00    | 33,51           | 35,63    | 30,20    | 29,67    | 34,35    | 30,48    | 34,48    | 32,92    | 34,47    | 37,03    | 34,44    | 35,00    | 34,53    | 35,73    | 32,37    | 30,80    | 35,77    | 35,80    | 36,96    | 33,74    | 31,78    | 31,65    | 33,05    | 26,65    | 32,94    | 33,32    | 35,33    | 37,71    | 34,92 |       |
| 2,00     | 41,72    | 44,66           | 47,44    | 41,15    | 42,02    | 46,21    | 42,66    | 45,99    | 44,69    | 45,58    | 49,38    | 47,08    | 48,16    | 46,65    | 48,15    | 42,93    | 41,77    | 48,47    | 48,93    | 49,95    | 47,63    | 43,85    | 41,58    | 45,47    | 38,16    | 43,87    | 44,58    | 45,15    | 52,41    | 47,60 |       |
| 3,00     | 47,48    | 50,67           | 53,79    | 46,88    | 45,56    | 52,36    | 48,85    | 52,08    | 50,78    | 51,91    | 55,86    | 54,06    | 55,47    | 53,61    | 54,86    | 48,65    | 47,72    | 55,52    | 56,00    | 57,23    | 55,40    | 50,46    | 47,23    | 52,07    | 44,12    | 49,68    | 50,22    | 50,57    | 59,64    | 54,37 |       |
| 5,00     | 53,24    | 57,18           | 60,49    | 52,74    | 55,09    | 59,69    | 55,13    | 57,73    | 57,18    | 58,32    | 62,98    | 61,17    | 62,46    | 60,78    | 62,22    | 63,93    | 52,89    | 62,52    | 63,93    | 65,11    | 65,14    | 60,36    | 57,00    | 53,33    | 58,51    | 49,43    | 55,75    | 56,33    | 67,53    | 61,70 |       |
| 7,00     | 56,18    | 60,85           | 63,88    | 55,78    | 58,34    | 61,77    | 58,03    | 59,97    | 60,55    | 60,97    | 67,22    | 65,06    | 66,17    | 64,28    | 65,95    | 56,66    | 55,80    | 66,69    | 66,77    | 69,59    | 66,81    | 60,36    | 56,55    | 62,15    | 52,10    | 59,00    | 59,88    | 58,66    | 72,02    | 65,86 |       |
| 10,0     | 58,36    | 63,62           | 66,51    | 58,22    | 60,95    | 64,29    | 60,17    | 61,33    | 62,99    | 63,05    | 70,61    | 68,10    | 69,18    | 67,13    | 68,57    | 59,17    | 58,26    | 69,82    | 69,90    | 73,85    | 70,63    | 63,46    | 58,91    | 64,38    | 53,93    | 61,05    | 62,20    | 60,22    | 75,51    | 68,48 |       |
|          |          | Área = 100 m²   |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |       |       |
| 0,50     | 27,42    | 29,01           | 30,70    | 25,93    | 24,78    | 29,63    | 28,24    | 30,36    | 28,14    | 30,73    | 32,38    | 29,40    | 29,78    | 29,78    | 30,78    | 28,88    | 26,24    | 30,91    | 30,47    | 31,32    | 27,94    | 27,09    | 27,92    | 29,13    | 22,07    | 28,65    | 29,05    | 31,80    | 30,55    | 30,16 |       |
| 1,00     | 35,73    | 37,78           | 39,63    | 34,09    | 33,17    | 39,52    | 34,47    | 39,35    | 36,58    | 39,27    | 41,71    | 38,22    | 38,90    | 38,61    | 40,15    | 36,81    | 34,48    | 40,26    | 39,73    | 40,77    | 36,82    | 35,35    | 36,05    | 37,60    | 29,59    | 37,11    | 38,02    | 38,95    | 41,04    | 39,43 |       |
| 2,00     | 49,83    | 52,61           | 55,56    | 48,41    | 48,80    | 54,08    | 49,73    | 54,13    | 51,99    | 53,91    | 57,40    | 54,07    | 55,49    | 54,07    | 56,14    | 50,78    | 49,03    | 56,13    | 56,00    | 57,20    | 54,18    | 50,55    | 49,65    | 53,04    | 44,27    | 51,63    | 52,96    | 51,64    | 58,95    | 55,48 |       |
| 3,00     | 57,50    | 60,57           | 64,23    | 56,64    | 57,76    | 62,96    | 58,70    | 62,70    | 60,83    | 61,91    | 66,00    | 63,21    | 64,91    | 63,19    | 64,85    | 58,82    | 57,36    | 65,59    | 65,88    | 66,74    | 64,21    | 59,55    | 57,71    | 61,90    | 52,87    | 59,93    | 61,48    | 58,83    | 68,60    | 64,28 |       |
| 5,00     | 66,06    | 69,92           | 74,01    | 65,49    | 67,85    | 72,55    | 68,30    | 72,03    | 69,96    | 71,66    | 75,83    | 73,01    | 74,80    | 73,18    | 74,42    | 67,00    | 66,55    | 75,56    | 75,93    | 77,14    | 74,77    | 69,01    | 66,64    | 71,42    | 61,82    | 69,12    | 70,42    | 67,37    | 78,63    | 73,87 |       |
| 7,00     | 71,09    | 75,41           | 79,02    | 70,72    | 73,42    | 77,75    | 73,94    | 76,68    | 75,49    | 77,24    | 81,45    | 78,46    | 80,38    | 78,77    | 79,87    | 71,74    | 71,36    | 81,24    | 81,05    | 82,67    | 80,70    | 74,32    | 71,75    | 76,82    | 66,83    | 74,58    | 75,14    | 72,85    | 84,38    | 79,60 |       |
| 10,0     | 75,18    | 80,20           | 83,34    | 75,49    | 78,07    | 82,49    | 78,35    | 80,92    | 80,04    | 81,96    | 86,15    | 83,47    | 85,03    | 83,59    | 84,83    | 75,98    | 75,36    | 85,84    | 85,34    | 87,95    | 85,65    | 78,77    | 76,66    | 81,39    | 71,01    | 79,07    | 80,01    | 77,25    | 89,14    | 84,59 |       |
|          |          | Área = 150 m²   |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |       |       |
| 0,50     | 30,57    | 32,27           | 33,78    | 28,25    | 26,80    | 32,25    | 28,21    | 33,70    | 30,22    | 34,14    | 35,17    | 31,77    | 32,12    | 32,84    | 33,70    | 29,12    | 33,62    | 33,15    | 33,49    | 29,68    | 29,68    | 29,60    | 30,74    | 31,70    | 23,37    | 31,73    | 31,91    | 34,07    | 31,90    | 33,73 |       |
| 1,00     | 39,79    | 41,46           | 43,35    | 37,28    | 36,12    | 42,02    | 37,39    | 43,43    | 39,52    | 43,44    | 45,15    | 41,34    | 42,06    | 42,28    | 43,96    | 40,39    | 38,04    | 43,61    | 42,82    | 43,56    | 39,26    | 38,54    | 39,85    | 41,04    | 31,75    | 40,94    | 41,78    | 42,04    | 42,86    | 43,59 |       |
| 2,00     | 56,92    | 59,04           | 62,54    | 54,65    | 54,63    | 60,65    | 55,66    | 61,14    | 57,92    | 60,74    | 63,87    | 59,98    | 61,27    | 60,31    | 62,74    | 57,24    | 55,55    | 62,48    | 61,64    | 62,74    | 59,14    | 56,49    | 56,95    | 59,67    | 48,94    | 58,48    | 59,60    | 57,26    | 64,12    | 62,21 |       |
| 3,00     | 66,35    | 68,75           | 72,74    | 64,98    | 65,02    | 71,68    | 66,31    | 70,99    | 68,74    | 70,54    | 73,96    | 70,79    | 72,15    | 70,89    | 73,15    | 66,83    | 66,46    | 73,63    | 73,07    | 73,58    | 70,96    | 67,03    | 67,14    | 69,99    | 59,41    | 68,82    | 70,02    | 66,17    | 75,13    | 72,57 |       |
| 5,00     | 76,58    | 79,46           | 83,52    | 76,04    | 78,20    | 82,62    | 77,57    | 81,66    | 79,99    | 81,83    | 84,69    | 81,96    | 83,50    | 82,03    | 83,94    | 76,97    | 78,14    | 84,46    | 84,35    | 84,84    | 82,85    | 78,28    | 78,44    | 81,25    | 70,86    | 79,66    | 80,43    | 76,00    | 85,81    | 83,33 |       |
| 7,00     | 82,71    | 85,56           | 88,75    | 82,54    | 84,86    | 88,73    | 84,04    | 87,31    | 86,28    | 88,07    | 90,01    | 88,11    | 89,42    | 88,48    | 89,31    | 83,22    | 84,98    | 90,10    | 89,83    | 90,58    | 89,40    | 84,81    | 84,31    | 87,33    | 78,05    | 85,24    | 86,14    | 82,39    | 91,32    | 89,25 |       |
| 10,0     | 87,99    | 90,69           | 93,06    | 88,00    | 90,33    | 93,75    | 89,47    | 92,22    | 91,33    | 92,77    | 93,78    | 93,10    | 93,72    | 93,48    | 93,84    | 88,78    | 89,96    | 94,58    | 94,26    | 95,09    | 94,11    | 90,18    | 89,46    | 92,14    | 84,45    | 90,08    | 90,78    | 87,97    | 95,29    | 93,51 |       |
|          |          | Área = 200 m²   |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |       |       |
| 0,50     | 32,15    | 34,16           | 35,61    | 29,37    | 27,71    | 33,61    | 29,23    | 35,40    | 31,04    | 35,84    | 37,02    | 33,92    | 33,12    | 34,40    | 35,10    | 33,38    | 33,35    | 35,47    | 34,40    | 34,30    | 30,36    | 30,83    | 32,39    | 33,03    | 23,99    | 33,44    | 33,52    | 35,11    | 34,73    | 34,73 |       |
| 1,00     | 41,92    | 43,71           | 45,60    | 38,97    | 37,65    | 43,67    | 39,05    | 45,57    | 41,09    | 45,51    | 47,35    | 43,92    | 44,58    | 44,28    | 45,65    | 42,48    | 39,86    | 45,45    | 44,48    | 44,99    | 40,38    | 40,30    | 41,97    | 42,79    | 32,74    | 42,95    | 43,82    | 43,65    | 43,77    | 45,27 |       |
| 2,00     | 60,43    | 62,51           | 65,21    | 58,10    | 57,83    | 63,54    | 58,81    | 64,81    | 60,71    | 64,15    | 67,35    | 62,96    | 64,04    | 63,53    | 65,84    | 60,87    | 59,19    | 65,74    | 64,43    | 65,57    | 61,41    | 59,57    | 60,90    | 62,87    | 51,17    | 62,05    | 63,17    | 60,36    | 66,38    | 65,27 |       |
| 3,00     | 71,05    | 73,18           | 76,74    | 69,42    | 70,21    | 75,70    | 70,70    | 75,79    | 72,56    | 74,92    | 77,94    | 74,63    | 75,75    | 74,82    | 77,18    | 71,37    | 70,95    | 77,52    | 76,53    | 77,19    | 73,95    | 71,17    | 72,25    | 74,37    | 62,66    | 73,33    | 74,35    | 70,23    | 78,23    | 76,52 |       |
| 5,00     | 81,72    | 84,21           | 87,44    | 81,22    | 82,80    | 86,83    | 82,21    | 86,17    | 84,34    | 86,11    | 88,30    | 85,92    | 87,12    | 86,22    | 87,76    | 81,61    | 83,11    | 88,36    | 87,60    | 88,11    | 86,02    | 82,77    | 83,66    | 85,80    | 74,42    | 84,49    | 84,93    | 80,32    | 88,57    | 87,43 |       |
| 7,00     | 87,78    | 90,15           | 92,22    | 87,96    | 89,50    | 92,32    | 88,84    | 91,39    | 90,76    | 92,24    | 93,05    | 91,80    | 92,69    | 92,27    | 92,76    | 88,38    | 88,63    | 93,39    | 92,94    | 93,34    | 92,31    | 89,23    | 89,84    | 91,93    | 82,36    | 90,10    | 90,40    | 86,86    | 93,96    | 92,56 |       |
| 10,0     | 92,54    | 94,84           | 96,19    | 93,46    | 94,39    | 96,30    | 93,59    | 95,90    | 95,40    | 96,08    | 96,36    | 96,05    | 96,21    | 96,31    | 96,51    | 93,58    | 94,37    | 97,01    | 97,02    | 96,96    | 96,40    | 94,34    | 94,95    | 95,88    | 89,12    | 94,31    | 94,89    | 92,20    | 97,39    | 96,02 |       |
|          |          | Área = 300 m²   |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |       |       |
| 0,50     | 33,83    | 35,67           | 36,73    | 30,49    | 28,63    | 34,59    | 30,13    | 37,19    | 31,70    | 37,24    | 38,42    | 33,70    | 34,17    | 36,01    | 36,57    | 34,33    | 31,92    | 36,58    | 35,49    | 35,21    | 30,98    | 31,99    | 33,92    | 33,97    | 24,54    | 35,26    | 35,00    | 35,90    | 32,71    | 36,19 |       |
| 1,00     | 44,15    | 45,87           | 47,43    | 40,52    | 39,02    | 45,30    | 40,48    | 47,85    | 41,92    | 47,42    | 49,20    | 44,53    | 45,01    | 46,50    | 47,51    | 44,34    | 41,94    | 47,56    | 46,03    | 46,35    | 41,44    | 42,04    | 44,13    | 44,56    | 33,53    | 45,35    | 45,95    | 44,93    | 44,39    | 47,19 |       |
| 2,00     | 64,34    | 65,81           | 68,23    | 61,36    | 60,95    | 66,51    | 61,63    | 68,55    | 63,09    | 67,81    | 70,52    | 65,95    | 66,93    | 68,89    | 64,42    | 62,76    | 68,98    | 68,42    | 68,98    | 67,21    | 68,00    | 63,75    | 62,80    | 64,69    | 66,10    | 53,25    | 65,49    | 66,89    | 63,46    | 67,72 | 68,67 |
| 3,00     | 75,23    | 77,21           | 80,19    | 73,61    | 74,03    | 79,21    | 74,30    | 79,98    | 75,70    | 79,04    | 81,49    | 78,11    | 78,92    | 80,58    | 75,76    | 74,99    | 81,14    | 79,27    | 76,48    | 74,70    | 73,87    | 76,75    | 78,42    | 65,55    | 77,14    | 78,77    | 73,85    | 80,39    | 80,39    |       |       |
| 5,00     | 86,07    | 88,35           | 90,62    | 85,80    | 86,73    | 90,35    | 86,29    | 90,08    | 87,76    | 89,62    | 91,26    | 89,35    | 89,98    | 89,64    | 90,55    | 86,45    | 87,36    | 91,35    | 90,36    | 90,68    | 88,32    | 86,48    | 88,22    | 89,72    | 78,15    | 88,22    | 89,02    | 84,52    | 91,09    | 90,61 |       |
| 7,00     | 91,75    | 94,05           | 95,25    | 92,35    | 93,21    | 95,24    | 92,87    | 94,70    | 94,07    | 94,82    | 95,45    | 94,62    | 94,95    | 94,94    | 94,95    | 92,77    | 93,65    | 95,75    | 95,16    | 95,65    | 94,31    | 92,55    | 94,26    | 94,74    | 86,11    | 93,60    | 94,09    | 90,88    | 95,95    | 95,00 |       |
| 10,0     | 95,57    | 97,59           | 98,31    | 96,30    | 96,80    | 97,17    | 98,15    | 96,50    | 98,08    | 97,61    | 98,48    | 98,45    | 97,83    | 98,93    | 98,09    | 97,79    | 96,67    | 97,93    | 98,34    | 98,47    | 97,66    | 96,94    | 96,04    | 97,62    | 92,97    | 97,06    | 97,44    | 95,34    | 95,66    | 97,62 |       |

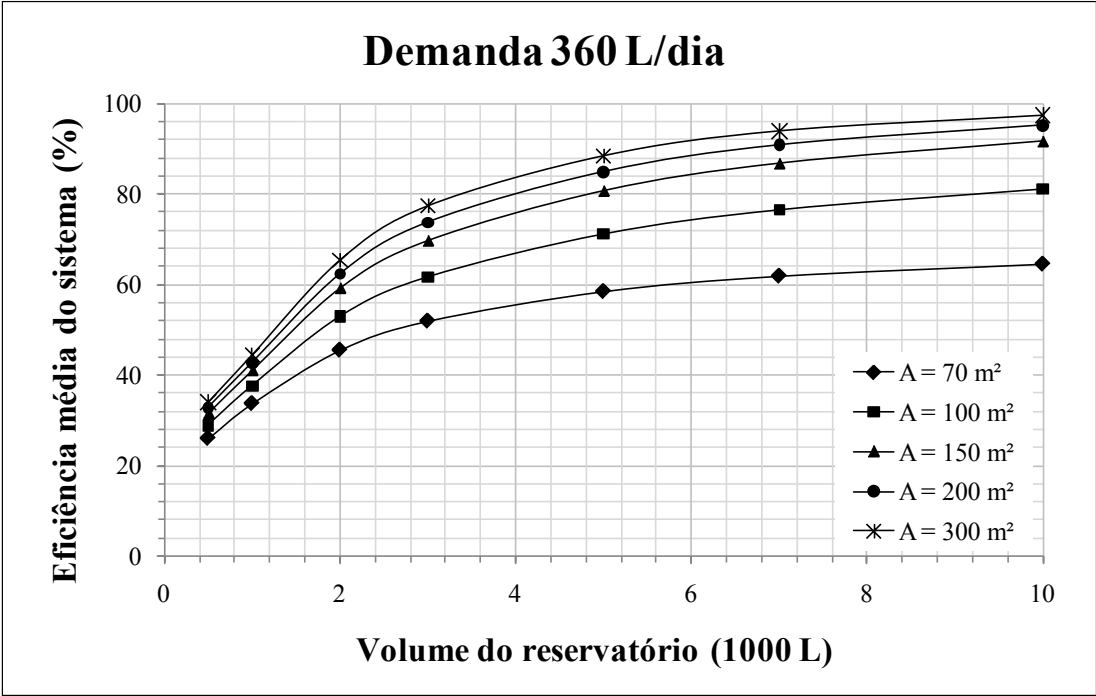


FIGURA 2. Volume x Eficiência média do sistema de aproveitamento para uma residência unifamiliar.

TABELA 8  
Eficiências médias para demanda em residência unifamiliar

| Demanda diária de 360 (l) |                                 |               |                                 |               |                                 |               |                                 |               |                                 |               |
|---------------------------|---------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|
| Vo-lume (m³)              | Área (m²)                       | 70            | Área (m²)                       | 100           | Área (m²)                       | 150           | Área (m²)                       | 200           | Área (m²)                       | 300           |
|                           | Eficiência média do sistema (%) | Desvio padrão | Eficiência média do sistema (%) | Desvio padrão | Eficiência média do sistema (%) | Desvio padrão | Eficiência média do sistema (%) | Desvio padrão | Eficiência média do sistema (%) | Desvio padrão |
| 0,50                      | 25,99                           | 2,02          | 28,91                           | 2,25          | 31,51                           | 2,54          | 32,81                           | 2,76          | 33,97                           | 2,96          |
| 1,00                      | 33,69                           | 2,43          | 37,61                           | 2,66          | 40,96                           | 2,85          | 42,72                           | 3,01          | 44,42                           | 3,23          |
| 2,00                      | 45,46                           | 3,14          | 52,93                           | 3,24          | 59,14                           | 3,32          | 62,29                           | 3,33          | 65,38                           | 3,40          |
| 3,00                      | 51,88                           | 3,61          | 61,65                           | 3,61          | 69,63                           | 3,46          | 73,70                           | 3,35          | 77,36                           | 3,28          |
| 5,00                      | 58,41                           | 4,27          | 71,14                           | 4,02          | 80,64                           | 3,43          | 84,85                           | 3,10          | 88,43                           | 2,70          |
| 7,00                      | 61,80                           | 4,74          | 76,49                           | 4,19          | 86,70                           | 3,10          | 90,77                           | 2,48          | 93,92                           | 1,92          |
| 10,00                     | 64,45                           | 5,22          | 81,10                           | 4,36          | 91,61                           | 2,61          | 95,15                           | 1,77          | 97,38                           | 1,26          |

TABELA 9  
Eficiências médias para demanda em residência multifamiliar

| Demanda diária de 4608 (L) |                                 |               |                                 |               |                                 |               |                                 |               |                                 |               |
|----------------------------|---------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|
| Volume (m³)                | Área (m²)                       | 300           | Área (m²)                       | 500           | Área (m²)                       | 700           | Área (m²)                       | 1.000         | Área (m²)                       | 1.500         |
|                            | Eficiência Média do sistema (%) | Desvio padrão | Eficiência Média do sistema (%) | Desvio padrão | Eficiência Média do sistema (%) | Desvio padrão | Eficiência Média do sistema (%) | Desvio padrão | Eficiência Média do sistema (%) | Desvio padrão |
| 7,00                       | 12,73                           | 1,40          | 19,53                           | 1,78          | 23,55                           | 1,91          | 27,01                           | 2,10          | 30,12                           | 2,39          |
| 10,00                      | 14,21                           | 1,64          | 23,13                           | 2,17          | 28,62                           | 2,37          | 33,51                           | 2,57          | 37,87                           | 2,84          |
| 15,00                      | 15,21                           | 1,80          | 26,01                           | 2,44          | 32,98                           | 2,67          | 39,27                           | 2,82          | 44,84                           | 3,01          |
| 20,00                      | 15,77                           | 1,93          | 27,98                           | 2,64          | 36,23                           | 2,90          | 43,82                           | 3,08          | 50,48                           | 3,19          |
| 25,00                      | 16,08                           | 2,01          | 29,38                           | 2,82          | 38,77                           | 3,11          | 47,52                           | 3,28          | 55,16                           | 3,33          |
| 30,00                      | 16,26                           | 2,07          | 30,40                           | 3,01          | 40,78                           | 3,30          | 50,59                           | 3,44          | 59,16                           | 3,45          |

Evidencia-se a existência de um crescimento da eficiência média do sistema em função do aumento do volume para uma área constante. Da mesma forma, um aumento da área de captação para um volume constante gera elevação dos índices de eficiência média.

Já o desvio padrão cresce com o aumento da área para um volume constante de até 2.000 L e diminui para volumes entre 3.000 L e 10.000 L. Quando se considera área constante e volume variável, o desvio cresce com o aumento do volume para áreas de 70 m² e 100 m², já para áreas de 150 m² e 200 m² ocorre um crescimento para volumes até 3.000 L e um decréscimo para volumes entre 5.000 L e 10.000 L; enquanto que para área de 300 m² o desvio aumenta até o volume de 2.000 L e diminui entre 3.000 L e 10.000 L.

É possível observar, ainda, que a variação da eficiência média diminui com o aumento da área para um volume constante, bem como, para o aumento do volume a uma dada área constante. Essa variação oscila entre 0,19% a 6,50% quando o volume aumenta e a área de captação permanece constante, alcançando valores mais expressivos (entre 3,12% a 14,14%) quando a área de captação aumenta e o volume de armazenamento permanece constante.

A Figura 3 traz a relação volume x eficiência média do sistema de aproveitamento para uma residência multifamiliar.

O gráfico demonstra um crescimento pouco significativo da eficiência média em função do

acréscimo nos valores da área de captação (quando o volume é constante) ou do aumento do volume de armazenamento do reservatório (quando a área é constante), tendendo a linearidade, sobretudo para áreas pequenas (70 m² e 100 m²).

É interessante destacar que a estabilização do crescimento da eficiência média em função do aumento do volume do reservatório ocorre mais rapidamente para as menores áreas quando comparadas as maiores, ou seja, para estas últimas a estabilização acontece em volumes mais elevados. Este fato pode estar atrelado à existência de uma relação ideal entre os diferentes componentes do sistema de aproveitamento, ou seja, existe um sistema ideal para uma dada eficiência pretendida e esse sistema terá uma área de captação e volume de armazenamento específico para cada demanda. Ou seja, deve haver um ponto em que o aumento do volume do reservatório não surte efeito sobre a eficiência quando o sistema possui pequena área de captação, uma vez que, não existe área suficiente para abastecê-lo completamente e, portanto a eficiência resulta muito parecida com aquela que seria obtida para menores volumes de armazenamento.

Essa análise permite concluir que em pequenas áreas de captação o controle da oferta é dado pela área enquanto que, para grandes áreas esse controle está relacionado ao tamanho do reservatório.

Para volumes de armazenamento de 7.000 L obteve-se eficiência superior a 12,73%, qualquer que fosse a área considerada. Já em reservatórios de 15.000 L os resultados são superiores a 15,21%,

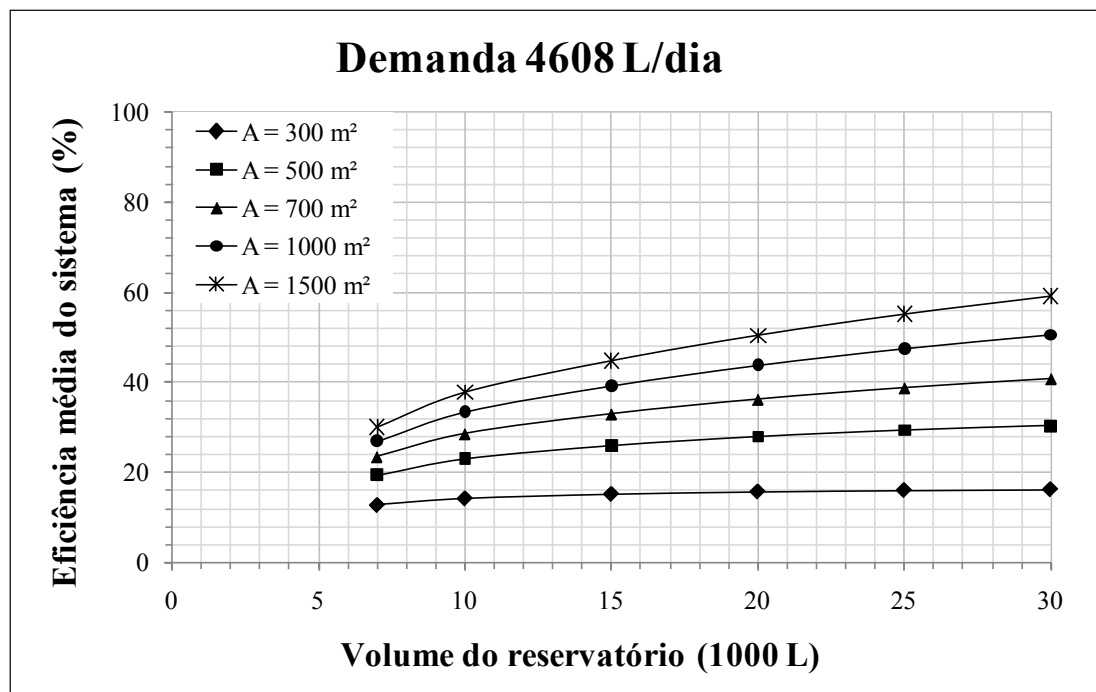


FIGURA 3. Volume x Eficiência média do sistema de aproveitamento para uma residência multifamiliar.

alcançando-se 59,16% quando da utilização de 30.000 L e área de captação de 1.500 m<sup>2</sup>. Os baixos índices de eficiência média podem estar relacionados ao aumento da demanda diária.

A Tabela 10 apresenta as eficiências médias e os desvios padrões encontrados para a demanda em postos de combustíveis (3.750 L/dia).

Percebe-se que a eficiência média cresce com o aumento da área para um volume constante e também para a elevação do volume a uma área constante. Já o desvio padrão cresce para um aumento do volume com área constante, com exceção do volume de 40.000 L e área de 2.000 m<sup>2</sup>. No que se refere ao aumento da área a volume constante, ocorre um crescimento do desvio padrão à exceção do volume de 40.000 L para área de 1500 m<sup>2</sup> e volumes de 30.000 L e 40.000 L para área de 2.000 m<sup>2</sup>.

Visualiza-se ainda, uma significativa variação da eficiência média em função do crescimento da área de captação para volume de armazenamento constante (entre 1,80% a 24,63%). Entretanto, a variação da eficiência média em função do aumento

do volume para área constante não segue um padrão comportamental específico, alternando aumento e diminuição dessa variação, conforme aumento do volume do reservatório.

A Figura 4 traz a relação volume x eficiência média do sistema de aproveitamento em postos de combustíveis.

Essa análise evidencia um crescimento lento da eficiência média em função do aumento do volume de armazenamento do reservatório para uma área de captação de 500 m<sup>2</sup> (tendência a linearização do gráfico) e uma elevação mais significativa para as demais áreas consideradas. A menor eficiência média encontrada para o volume de 10.000 L foi superior a 27,54%. Já em reservatórios de 20.000 L atingiu-se valor superior a 35,22%, alcançando-se 78,73% quando da utilização de 40.000 L e área de captação de 2.000 m<sup>2</sup>.

Ressalta-se que o crescimento da eficiência para um mesmo volume é mais expressivo em função de uma variação da área de captação entre 500 e 1.000 m<sup>2</sup> do que entre 1.000 m<sup>2</sup> e 2.000 m<sup>2</sup>.

TABELA 10  
Eficiências médias para a demanda em postos de combustíveis

| Demanda diária de 3750 (L) |                                 |               |                                 |               |                                 |               |                                 |               |
|----------------------------|---------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|
| Volume (m³)                | Área (m²)                       | 500           | Área (m²)                       | 1.000         | Área (m²)                       | 1.500         | Área (m²)                       | 2.000         |
|                            | Eficiência Média do sistema (%) | Desvio padrão | Eficiência Média do sistema (%) | Desvio padrão | Eficiência Média do sistema (%) | Desvio padrão | Eficiência Média do sistema (%) | Desvio padrão |
| 10,00                      | 27,54                           | 2,36          | 37,06                           | 2,73          | 40,51                           | 2,90          | 42,31                           | 3,07          |
| 15,00                      | 31,45                           | 2,67          | 43,55                           | 3,03          | 47,99                           | 3,16          | 50,34                           | 3,27          |
| 20,00                      | 35,22                           | 3,04          | 51,70                           | 3,34          | 58,21                           | 3,39          | 61,65                           | 3,43          |
| 30,00                      | 38,47                           | 3,45          | 58,99                           | 3,68          | 66,66                           | 3,59          | 70,51                           | 3,50          |
| 40,00                      | 40,59                           | 3,85          | 65,22                           | 3,97          | 74,36                           | 3,65          | 78,73                           | 3,46          |

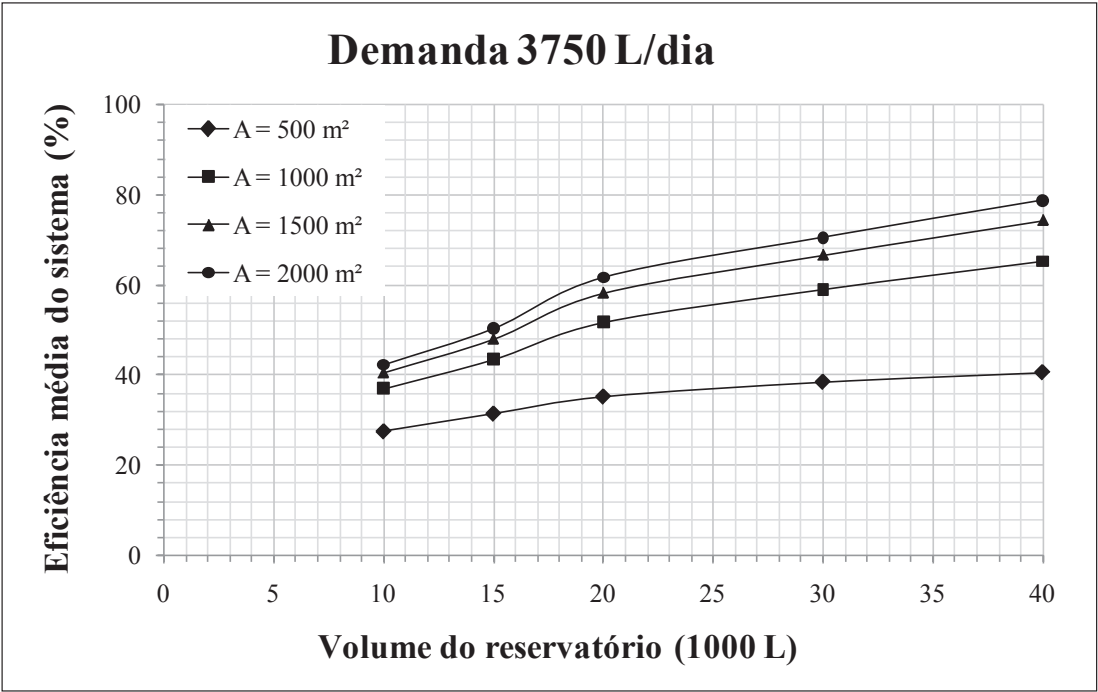


FIGURA 4. Volume x Eficiência média do sistema de aproveitamento para postos de combustíveis.

A Tabela 11 apresenta as eficiências médias e os desvios padrões encontrados para a demanda em indústria (50.000 L/dia).

A análise dos resultados revela que a eficiência média do sistema cresce com o aumento da área para volume constante e também para uma elevação do volume a área constante. Entretanto, observa-se que a variação dessa eficiência diminui com o aumento da área de captação para um volume constante (entre 0,81% e 14,59%) e semelhante comportamento é verificado quando se compara a variação da eficiência média em função do aumento do volume a uma dada área constante (entre 0,37% a 12,30%).

Percebe-se ainda, que o desvio padrão cresce com aumento do volume para uma área constante e também para o aumento da área a um volume constante (com exceção do volume de 800.000 L e área de 10.000 m<sup>2</sup>).

A Figura 5 retrata a relação volume x eficiência **média** do sistema de aproveitamento em uma indústria.

A análise do gráfico demonstra um crescimento pouco significativo da eficiência em função do aumento dos valores da área de captação e volume de armazenamento do reservatório. Para volume de 100.000 L obteve-se valor mínimo superior a 19,18%, qualquer que fosse a área considerada. Já para reservatórios de 400.000 L alcançou-se resultados superiores a 28,72%, atingindo-se índice superior a 60,97% quando da utilização de 800.000 L e área de captação de 10.000 m<sup>2</sup>.

É também possível definir que a tendência à estabilidade da eficiência ocorre a partir do volume de 400.000 L para as áreas entre 5.000 a 7.000 m<sup>2</sup>.

Em termos gerais, o comportamento da eficiência média do sistema foi semelhante para todos os tipos de demanda, ocorrendo um crescimento para um aumento da área (a volume constante) e para uma elevação de volume (a área constante). Já a variação da eficiência decresce com o aumento da área a volume constante, ou seja, os incrementos nos índices tornam-se menos expressivo na medida em que se aumenta a área de captação sem alterar o reservatório; isso provavelmente, em razão de que não há volume suficiente para armazenar a água que poderia ser coletada. Em contrapartida, quando se aumenta o volume para uma área constante não é possível definir um padrão de comportamento para a variação da eficiência para as demandas unifamiliar e em postos de combustíveis; já para residência multifamiliar

e indústria ocorre uma diminuição desses valores, provavelmente em função de que o reservatório nunca ficará completamente cheio, pois a área pode não ser suficiente para esse volume

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A captação pluvial oferece grande contribuição à redução do déficit hídrico em termos quantitativos, destacando-se por sua simplicidade. No entanto, a difusão desses sistemas de aproveitamento depende, dentre outras coisas, da viabilidade econômica de suas implantações.

Dessa forma, a metodologia proposta neste estudo oferece uma visão interligada da influência dos diferentes constituintes do sistema de aproveitamento, simulando o comportamento deste como um todo. O objetivo é torná-la um instrumento de referência e auxílio ao desenvolvimento de projetos desse gênero, permitindo que se visualize, graficamente, a eficiência a ser obtida para dada área, demanda e volume de reservatório pré-definidos. Possibilita ainda, verificar as dimensões a serem implantadas em termos de área de captação e volume de armazenamento, conhecida a demanda, para que se atinja determinada eficiência.

É possível dizer que, teoricamente, quanto maior for a área de captação, maior será a economia no suprimento externo de água. Porém, existe uma relação entre essa economia, a área de captação e o volume do reservatório. Por exemplo, se for optado pela utilização de um volume de captação pequeno, de nada adianta prever uma área de captação grande, já que no momento de ocorrência da precipitação, a água coletada facilmente preenche esse volume e o restante será descartado, sem aproveitamento. O mesmo acontece se, para dada área de coleta, utilizar-se volumes bastante elevados. Na prática é provável que muito raramente eles atingirão sua máxima capacidade e, conseqüentemente, haverá um desperdício do espaço físico e dos recursos empregados para a construção/implantação do sistema de aproveitamento.

## AGRADECIMENTOS

Ao CT-Hidro e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos recursos financeiros e bolsas fornecidas. Ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria.

TABELA 11  
Eficiências médias para demanda em, indústrias

| Demanda diária de 50000 (L) |                                 |               |                                 |               |                                 |               |                                 |               |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|
| Volume (m³)                 | Área (m²)                       | 5.000         | Área (m²)                       | 7.000         | Área (m²)                       | 9.000         | Área (m²)                       | 10.000        |
|                             | Eficiência Média do sistema (%) | Desvio padrão | Eficiência Média do sistema (%) | Desvio padrão | Eficiência Média do sistema (%) | Desvio padrão | Eficiência Média do sistema (%) | Desvio padrão |
| 100,00                      | 19,18                           | 1,80          | 23,42                           | 1,97          | 26,03                           | 2,10          | 26,83                           | 2,17          |
| 200,00                      | 24,96                           | 2,43          | 32,51                           | 2,71          | 37,45                           | 2,85          | 39,14                           | 2,88          |
| 400,00                      | 28,72                           | 3,08          | 40,15                           | 3,50          | 48,40                           | 3,66          | 51,42                           | 3,68          |
| 600,00                      | 29,79                           | 3,35          | 43,26                           | 4,06          | 53,53                           | 4,18          | 57,50                           | 4,19          |
| 800,00                      | 30,16                           | 3,47          | 44,75                           | 4,40          | 56,42                           | 4,60          | 60,97                           | 4,58          |

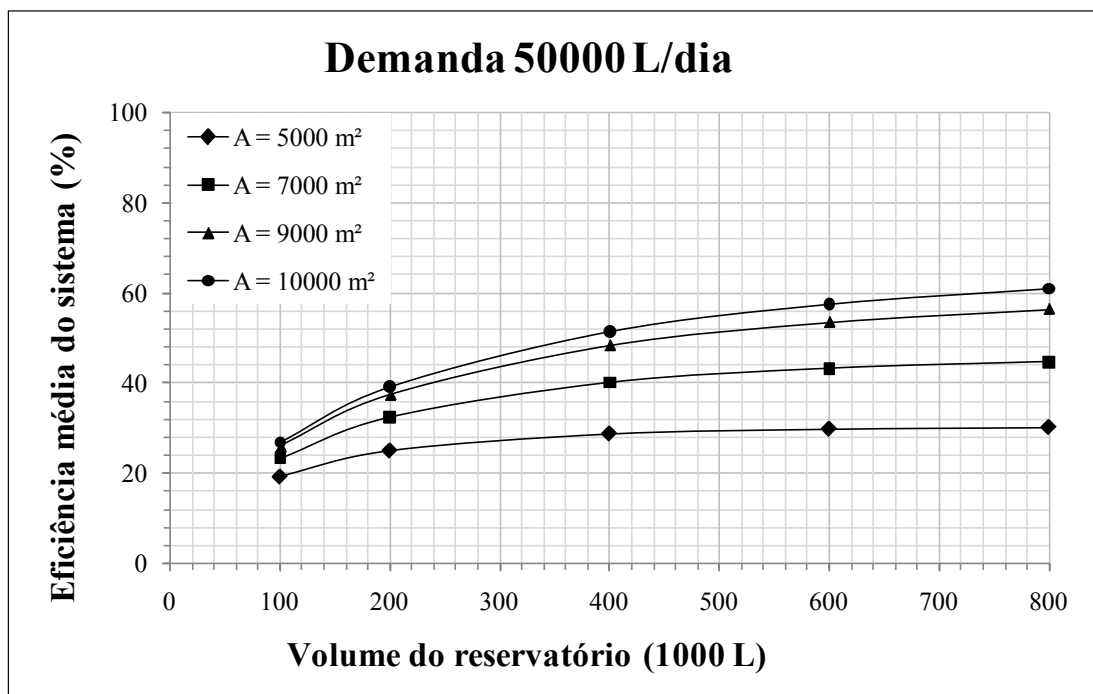


FIGURA 5. Volume x Eficiência média do sistema de aproveitamento para demanda industrial.

## Referências

AGARWAL, A. et. al. **TAC BACKGROUND PAPERS -Integrated Water Resources Management**. Suécia, 2000, nº 4, 71p. Publicado por: Global Water Partnership. Disponível em: <http://www.gwpforum.org/servlet/PSP>. Acesso em: 10 jun. 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP) e SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO (SINDUSCON-SP). **Conservação e Reuso de água em Edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica. 2005.

- ANNECCHINI, K.P.V. et al. IV-010 – **Dimensionamento de Reservatório de Água de Chuva para Uso Não Potável em Edificações na Cidade de Vitória (ES)**. VIII SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 17 A 22 de setembro de 2006. Fortaleza, CE. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES.
- AZEVEDO NETTO, J.M. et al. **Manual de Hidráulica**. São Paulo: 8ª ed., 2002. 669 pg. Ed: Edgard Blucher.
- BOERS, Th. M.; BEN-AHER, J. A review of rainwater harvesting. *Agricultural Water Management*, **Agricultural Water Management**, v. 5, p.145-158, 1982.
- BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE: Portaria nº 518 de 25 de março de 2004. Diário Oficial da União, Brasília, p. 1-15, 2004.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO DO MEIO AMBIENTE: Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Diário oficial da União, Brasília, p. 1-23, 2005.
- FENDRICH, R. **Coleta, armazenamento, utilização e infiltração das águas pluviais na drenagem urbana**, Tese (Doutorado em Geologia Ambiental). Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2002.
- GHISI, E. e OLIVEIRA, S.M. de. Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. *Elsevier, Building and Environment*, v. 42, p. 1731–1742, 2007.
- GHISI, E; BRESSAN D. L.e MARTINI M. Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. *Elsevier, Building and Environment*, v. 42, p. 1654–1666, 2007.
- HERRMANN, T.; SCHMIDA, U. Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. *Urban Water*, Hannover, v.1, n.4, p. 307–316, 1999.
- JAQUES, R.C. *et al*. Qualidade da Água de Chuva no Município de Florianópolis e sua Potencialidade para Aproveitamento em Edificações. In: VIII SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17 a 22 de setembro de 2006, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, CE. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES). CD-ROM.
- KOBIYAMA, M., HANSEN, S. Vantagens da utilização do sistema de coleta da água da chuva sob o ponto de vista dos aspectos hidrológicos e econômicos: Estudo de caso em Florianópolis/SC. In: \_\_\_\_ GROUP RAINDROPS. **Aproveitamento da água da chuva**. Organizadores e Tradutores: KOBIYAMA, M., USHIWATA, C. T., AFONSO, M. Curitiba/PR. 2002. pg.169-181.
- LOPES, J.E.G.; Santos, R.C.P. **Capacidade de reservatórios**, 2002. Disponível em: <[http://www.fcth.br/public/cursos/phd5706/phd5706\\_reservatorios.pdf](http://www.fcth.br/public/cursos/phd5706/phd5706_reservatorios.pdf)> Acesso em : 15 dezembro de 2005.
- MAY, Simone. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 189 pg. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- MCMACHON, T. Hydrology Designn for Water Use. In \_\_\_\_ DAVID MAIDMENT. **Handbook of Hydrology**, 1993.
- MIERZWA, J.C. et al. Águas pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado. **Revista de Gestão de Água da América Latina (REGA)**, Porto Alegre, Vol. 4, nº 1, pg. 29-37, jan./jun. 2007
- OLIVEIRA, Y. V. **Uso do Balanço Hídrico Seriado para o Dimensionamento de Estrutura de Armazenamento de Água das Chuvas: Estudos de casos**. 2004, 146 pg. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2004.
- PETERS, M.R., **Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial**. 2006, 109 pg. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2006.
- SEEGER, L.M.K.; PAIVA, E.M.C.; SARI, V. Análise Comparativa do Sistema de Aproveitamento da Água da Chuva entre Duas Cidades da Região Sul e Centro-Oeste. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS E 8º SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 25 a 29 de Novembro de 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo/ SP, 2007. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). CD-ROM.
- SILVA, A. R.V.; TASSI, R. Dimensionamento e Simulação do Comportamento de um Reservatório para Aproveitamento de Água da Chuva: Resultados Preliminares. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20 a 24 de novembro de 2005. João Pessoa. **Anais....** João Pessoa/PB, 2005. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). CD-ROM.
- TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva**. São Paulo: Editora Navegar, 2003. 180p.

**Vanessa Sari Mestranda** Universidade Federal de Santa Maria/UFSM.  
E-mail: [sari.vanessa@yahoo.com.br](mailto:sari.vanessa@yahoo.com.br)

**Lília Mayumi Kaneda Seeger Mestre** Universidade Federal de Santa Maria/  
UFSM). E-mail: [liakaneda@yahoo.com.br](mailto:liakaneda@yahoo.com.br)

**Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva** Professor Associado - Universidade  
Federal de Santa Maria/ UFSM. E-mail: [eloizadepaiva@gmail.com](mailto:eloizadepaiva@gmail.com)

**Ana Lúcia Denardin da Rosa** Professor Assistente - Fundação Universidade  
Federal de Rondônia/UNIR. E-mail: [eng.analucia@yahoo.com.br](mailto:eng.analucia@yahoo.com.br)

# Qualidade do escoamento na rede de drenagem pluvial urbana: a situação de Brasília-DF

**Nestor Aldo Campana**  
**Ricardo Silveira Bernardes**

**RESUMO:** O escoamento pluvial urbano transporta substâncias poluidoras que favorecem a degradação dos corpos d'água receptores desse escoamento. Em decorrência do uso e ocupação do solo em áreas urbanas, assim como das atividades desenvolvidas nesse ambiente, são geradas cargas poluidoras cujo local de origem não se consegue precisar exatamente, e que na ocorrência de chuvas são incorporadas ao escoamento superficial e transportadas nas redes de drenagem até o lançamento final nos corpos de água receptores. Em geral, a primeira parte do escoamento superficial tende ser a mais poluída, sendo este fenômeno relatado na bibliografia especializada como carga de lavagem do escoamento superficial. A quantificação desta carga apresenta grande importância na avaliação do impacto por ela produzido e na gestão integrada da drenagem urbana. Assim, este trabalho foi motivado por essa constatação, entre outras razões, e apresenta dados do monitoramento de uma bacia hidrográfica da área urbana da cidade de Brasília/DF, fornecendo novos dados a respeito da carga de poluição difusa em ambiente urbano. Distintos parâmetros de qualidade e quantidade da água foram avaliados para distinguir o nível de deterioração da água em relação à duração do escoamento pluvial e em relação ao tipo de ocupação ao longo da rede de drenagem.

**PALAVRAS-CHAVE:** qualidade da água, drenagem urbana, escoamento superficial.

**ABSTRACT:** The urban stormwater runoff carries pollution loads that contribute to the degradation of water bodies recipients. As a result of the use and occupation of land in urban areas as well as the activities developed in this environment, are generated pollution loads whose place of origin cannot be specified accurately, and in case of rainfall are incorporated into the runoff and transported in the systems drainage until their end point into water bodies' recipients. Generally, the first part of the runoff tends to be more polluted, and this phenomenon is usually reported in the specialized literature as "first-flush". The water's resource management could be helped to predict how the environmental impact will be if these pollution loads were well known. Thus, this work was motivated by that situation, among other reasons, and presents data from the tracking of a watershed in the urban area of the city of Brasília/DF, providing new knowledge on first-flush in a urban environment. Different water's parameters of quality and quantity were evaluated to discern the water deterioration level per runoff time and also kind of occupation along the drainage network.

**KEYWORDS:** water quality, urban drainage, runoff.

## INTRODUÇÃO

O crescimento populacional associado ao desenvolvimento urbano promove profundas alterações no meio ambiente, as quais se refletem principalmente na deterioração da qualidade dos recursos naturais, em particular dos recursos hídricos. As cargas poluentes de origem difusa, originadas na bacia hidrográfica e incorporadas ao escoamento superficial e lançadas no sistema de drenagem, geram preocupações crescentes no contexto do controle da poluição e da proteção dos recursos hídricos. A avaliação destas

cargas apresenta grande importância na mensuração do impacto por elas produzido e no projeto de medidas estruturais, ou não, para o seu controle.

O escoamento decorrente da precipitação lava ruas, telhados, calhas e demais superfícies, carrega os mais diversos detritos e contaminantes para os corpos receptores através da drenagem existente. Neste cenário complexo, a identificação da composição da carga poluente do escoamento superficial ao longo da sua duração, assim como a sua relação com o tipo de uso e ocupação do solo urbano tem se mostrado

uma ferramenta relevante na gestão operacional e na modernização dos sistemas de drenagem urbana.

A Figura 1 ilustra de forma esquemática, as principais vias de acesso dos poluentes aos corpos d'água e como as alterações resultantes nestes refletem-se diretamente na saúde do homem.

Campana et al. (2007) argumentam que os incrementos nas vazões do escoamento superficial decorrente das chuvas em áreas urbanas vêm sendo objeto de estudo de inúmeras pesquisas. Num primeiro momento, a quantificação dos acréscimos observados por simulação se tornou uma ferramenta de grande utilidade para a adoção de medidas que auxiliem no controle desses acréscimos evitando, assim, a ocorrência de inundações. No entanto, é de suma importância a validação dos resultados obtidos com observações *in loco*.

Outra preocupação diz respeito ao aspecto qualitativo das águas pluviais, e neste contexto se verifica que diversas pesquisas têm buscado correlacionar as principais fontes de dano à qualidade da água dos corpos receptores com o tipo de ocupação da área de drenagem. Em 2000, o inventário de qualidade da água da U.S. Environmenta Protection Agency, identificou onze categorias de fontes de poluição em áreas urbanas nos Estados Unidos (USEPA, 2005). Dentre estas fontes, o escoamento urbano e o despejo de esgoto são as categorias que contribuem em segundo, terceiro e quarto lugar para a deterioração

da qualidade da água dos estuários, lagos e rios respectivamente, conforme mostrado na tabela 1.

A tabela 2 apresenta os valores de referências internacionais identificados por Valirion e Tabuchi (1992) para as concentrações de alguns típicos poluentes encontrados no escoamento pluvial urbano. Várias pesquisas ressaltam a dificuldade da identificação de um comportamento comum nos resultados da investigação desses poluentes, nos diversos centros urbanos ao redor do mundo, devido à variabilidade do meio em questão.

Um aspecto relevante na avaliação da poluição difusa em ambientes urbanos é a quantificação das áreas impermeabilizadas. Segundo Dotto (2006), dessas áreas impermeáveis, as superfícies pavimentadas (ruas, calçadas, etc) representam uma fonte crítica de sedimentos no ambiente urbano. Estes sedimentos são transportados pelo sistema de drenagem até o corpo receptor causando os mais diversos impactos.

Desse modo, o estudo e a compreensão dos fatores que integram o processo de urbanização e a produção de sedimentos em cada centro urbano, são de grande importância, pois servem de ponto de partida para o aprimoramento dos órgãos constitutivos da drenagem urbana e ao posterior tratamento desses efluentes. Os resultados podem servir de orientação ao estudo em outras áreas urbanas com regime de precipitação semelhante e características físicas, de ocupação de solo e declividades

TABELA 1  
Principais fontes de dano à qualidade da água relativa à ocupação humana

| Rios e córregos                      | Lagos, lagoas e reservatórios          | Estuários                               |
|--------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| Agricultura<br>(48%)                 | Agricultura<br>(41%)                   | Poluição pontual de municípios<br>(37%) |
| Modificações hidrológicas<br>(20%)   | Modificações hidrológicas<br>(18%)     | Escoamento urbano e esgotos<br>(32%)    |
| Modificações do habitat<br>(14%)     | Escoamento urbano e esgotos<br>(18%)   | Descargas industriais<br>(26%)          |
| Escoamento urbano e esgotos<br>(13%) | Miscelânea de poluição difusa<br>(14%) | Deposição atmosférica<br>(24%)          |

Os valores em parênteses representam a percentagem estimada em milhas de rios, em acres de lagos e em milhas quadradas de estuário que foram classificadas como debilitadas nos Estados Unidos, excluindo-se as categorias “desconhecidas”, as “naturais” e “outras fontes”. Fonte: USEPA (2005).

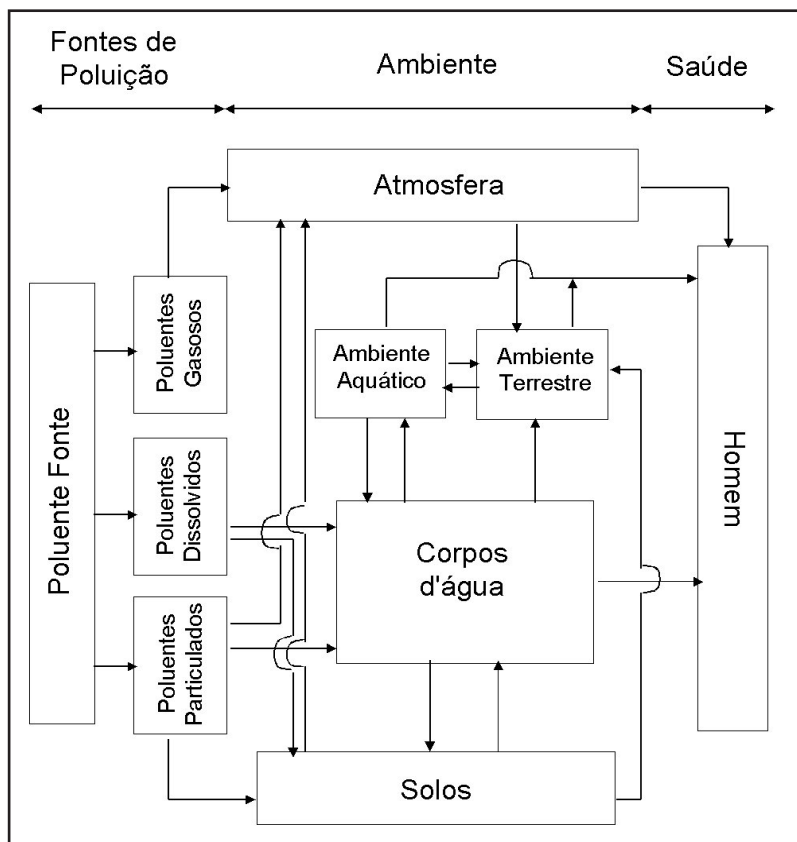
**FIGURA 1. Trajeto dos poluentes relacionados ao ambiente aquático (Chapman, 1998)**

TABELA 2  
Valores de referência para a concentração dos poluentes mais frequentemente encontrados no escoamento pluvial urbano

| Parâmetro            | Unidade | Valores |        |       |               |
|----------------------|---------|---------|--------|-------|---------------|
|                      |         | Mínimo  | Máximo | Média | Desvio padrão |
| pH                   | -       | 5,70    | 7,40   | 6,70  | 0,49          |
| DQO                  | mg/L    | 0,87    | 84,00  | 22,40 | 21,40         |
| Cobre                | mg/L    | 0,03    | 1,83   | 0,24  | 0,24          |
| Sulfatos             | mg/L    | 4,40    | 205,00 | 33,90 | 47,30         |
| Sódio                | mg/L    | 0,20    | 42,20  | 7,90  | 10,80         |
| Zinco                | mg/L    | 1,00    | 10,10  | 3,70  | 2,30          |
| Chumbo               | mg/L    | 0,02    | 1,60   | 0,06  | -             |
| Fósforo              | mg/kg   | 800     | 1200   | 1000  | 182,50        |
| Óleos e graxas       | mg/L    | 5,00    | 10,00  | 7,00  | 1,65          |
| Sólidos em suspensão | mg/L    | 30,31   | 329,17 | 142   | 12,80         |

Fonte: dados compilados de Valiron e Taguchi (1992); Driscoll, et al. (1990) e Prodanoff (2005).

Silva (2006) relata que no Brasil, desde o início da década dos anos 90, a gestão dos recursos hídricos se depara com um novo paradigma para a drenagem urbana, o qual abandona o conceito tradicional de drenagem que consistia em retirar o excedente superficial o mais rápido possível da bacia hidrográfica, para se adotar um modelo compensatório que não permite a propagação do excedente superficial para jusante, mas, sim, a permanência deste na bacia hidrográfica, obviamente em local apropriado para não gerar interferências à população.

Diante do exposto, o presente estudo apresenta os resultados obtidos do monitoramento de uma bacia urbana, situada na cidade de Brasília – DF, tendo como objetivo caracterizar a natureza e magnitude da carga de poluentes, decorrentes da poluição difusa, presentes no escoamento veiculado pela rede de drenagem urbana a fim de gerar subsídios para a gestão integrada da drenagem pluvial. Distintos parâmetros de qualidade e quantidade da água foram avaliados para distinguir o nível de deterioração da água em relação à duração do escoamento pluvial e em relação ao tipo de ocupação ao longo da rede de drenagem.

## METODOLOGIA

Os estudos e monitoramentos foram realizados na cidade de Brasília/DF, inserida no cerrado brasi-

leiro, que de forma semelhante aos grandes centros urbanos vem sofrendo as consequências da expansão urbana desordenada. De acordo com o IBGE (2000), a Região Administrativa de Brasília possui 473 km<sup>2</sup>, aproximadamente 200.000 habitantes e os sistemas de distribuição água potável e coleta de esgoto atendem 92% da população.

Os dados do INMET (2008), apresentados na Figura 2, permitem constatar que há dois regimes pluviiais distintos na capital do país: o período úmido, de outubro a abril e o período seco de maio a setembro de cada ano. As temperaturas são amenas durante todo o ano e não há ocorrências de gelo e degelo por se tratar de região com características tropicais.

A bacia urbana monitorada (figura 3) abrange uma área de aproximadamente 335 ha que tem a sua cabeceira na região do autódromo da cidade e deságua no Lago Paranoá. Está localizada na região definida pelas coordenadas geográficas (15°43'41.10"S; 47°49'01.10") e (15°43'00.45"S; 47°56'34.49"), e tem como característica principal uma ocupação urbana bem definida, setorizada em áreas com tipos exclusivos de ocupação, tais como comercial, residencial, de serviços, entre outros.

A carga de poluentes detectada no sistema de drenagem de águas pluviais em ambientes urbanos tem diversas origens, os quais estão esquematicamente representados na figura 4. Da observação dessa

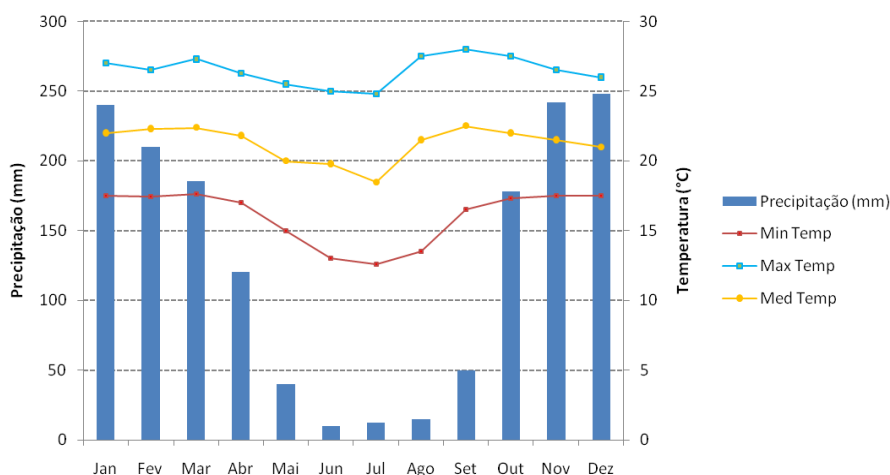


FIGURA 2. Dados climáticos médios mensais de Brasília/DF – INMET(2008)

figura pode-se concluir que para uma caracterização completa da carga total de poluentes, o processo de monitoramento das águas pluviais urbanas deve necessariamente contemplar: a) medições da vazão do escoamento superficial; b) determinação da carga de lavagem atmosférica; c) medições de acumulação superficial de contaminantes em superfícies **típicas (residencial, comercial, etc);** e d) determinação da carga de lavagem dessas superfícies.

Desta forma, na bacia hidrográfica de estudo foram selecionadas três áreas com tipos de ocupação bem definidos, isto é, uma área residencial, outra comercial, e uma terceira área ocupada por pequenas oficinas mecânicas (ver figura 5). Durante eventos chuvosos, nas bocas de lobo que captam o escoamento gerado por essas três subáreas de drenagem foi medida a vazão do escoamento superficial, e simultaneamente, coletada amostras do mesmo para posterior análise em laboratório.

Além das três áreas citadas, foram considerados, também, dois pontos de monitoramento, um na cabeceira da bacia, e outro no exutório da bacia. A finalidade do monitoramento nestes dois pontos é avaliar o comportamento (em termos de qualidade e quantidade) do escoamento superficial da bacia urbana como um todo, sem fazer distinção para tipos específicos de ocupação.

A carga de lavagem atmosférica foi caracterizada por meio dos seguintes parâmetros: pH, DQO, além das concentrações de material particulado, cobre, sulfatos, sódio, zinco e chumbo.

O acúmulo de material sólido na superfície das ruas foi classificado nas seguintes categorias: papel, madeira, plástico, metal, vidro, sedimentos, material orgânico, e outros.

Na determinação das concentrações médias das cargas de lavagem da superfície das ruas foram contem-

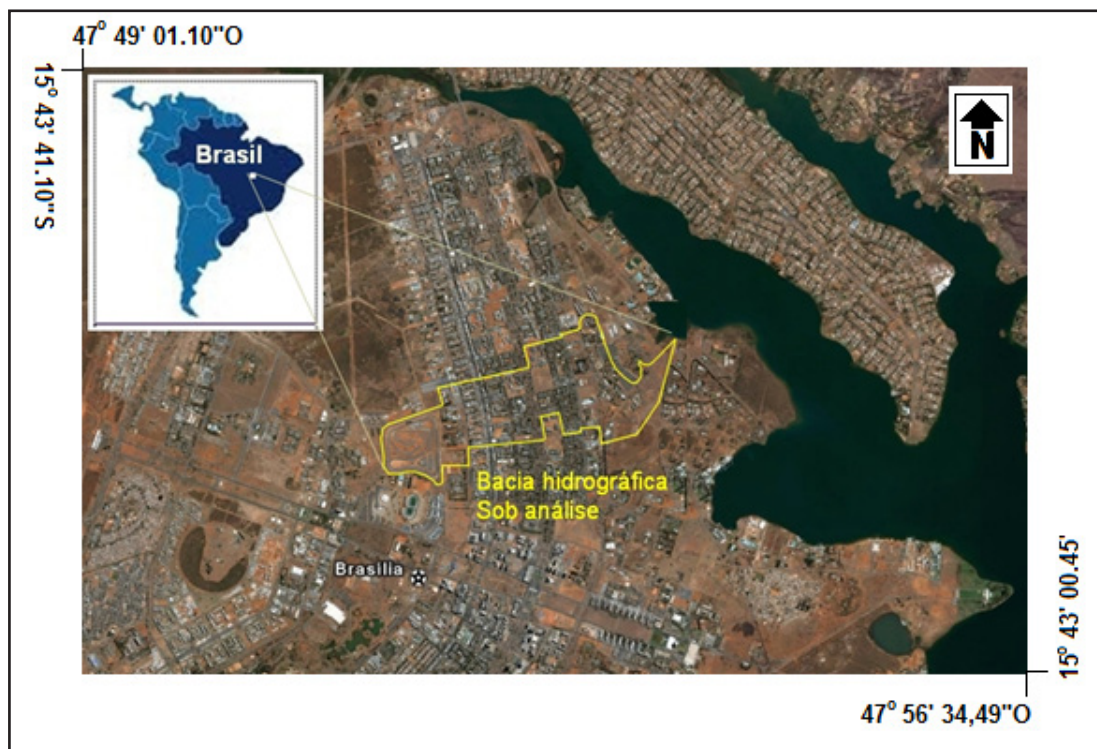
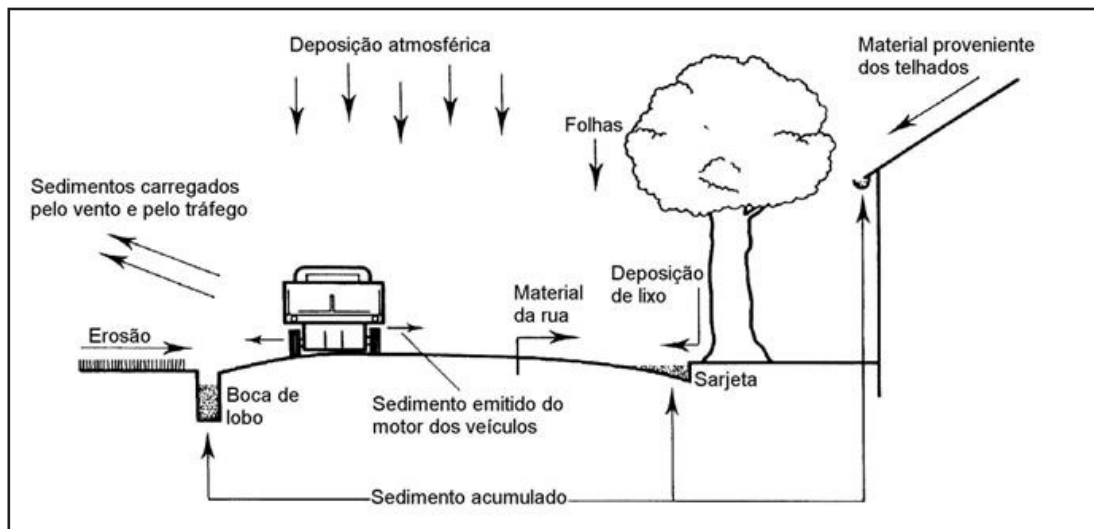


FIGURA 3. Localização bacia hidrográfica urbana na cidade de Brasília-DF



**FIGURA 4. Principais fontes de contribuição de poluentes e sedimentos.**  
Adaptado de Butler e Clark (1995) e Campana e Silva (2008).



**FIGURA 5. Localização das áreas de amostragem e monitoramento**

plados os seguintes parâmetros: pH, DQO, sulfatos, cobre, sódio, zinco, chumbo, sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos, óleos e graxas, DBO, fósforo, nitrogênio amoniacal, coliformes totais e E-Coli.

Destaca-se que em função da disponibilidade limitada de equipamentos, optou-se por um método de quantificação indireta do escoamento, que consistiu em medir ao longo do evento chuvoso a lâmina de água junto ao meio-fio e logo com base nessa leitura, nas características geométricas da boca de lobo e sarjeta, foi estimada a vazão usando a equação de descarga de vertedor lateral.

Além do monitoramento do escoamento pluvial urbano propriamente dito, foram coletadas amostras da precipitação, antes desta atingir a superfície do terreno, com o intuito de estimar a carga de lavagem atmosférica. Também, foi feito o acompanhamento do processo de varrição das ruas dessas três áreas, quantificando e classificando o material coletado nessa atividade de limpeza diária que é praticada na cidade. Foram dois os períodos de monitoramento; o primeiro se estendeu do mês de dezembro de 2006 até final do mês de fevereiro de 2007; e o segundo do mês de novembro de 2008 até o mês de março de 2009. Destaca-se que o processo de monitoramento foi conduzido sempre durante a estação chuvosa da região.

## RESULTADOS

Na tabela 3 são apresentados os valores das cargas de lavagem atmosférico, enquanto que na tabela 2 foram mostrados valores médios de referência encontrados na bibliografia especializada que permitem uma análise comparativa. Assim, é possível perceber que as concentrações de carga de lavagem atmosférica encontradas na cidade de Brasília são significativamente menores que os valores de referência, com exceção do pH. Uma justificativa para tanto pode estar no fato de que as atividades que prevalecem na capital do país são a administrativa, de serviços e comércio, não havendo atividade industrial expressiva.

A tabela 4 mostra a caracterização dos resíduos sólidos oriundos da varrição das ruas e vias de circulação das três áreas sob estudo. Nota-se uma composição bem diferenciada desse material sólido, conforme o tipo de uso e ocupação do solo.

As concentrações médias dos diversos parâmetros selecionados para caracterizar a carga de lavagem das ruas são apresentadas na tabela 5. Já na tabela 6 é feita uma comparação entre as concentrações média da

carga de lavagem atmosférica com as concentrações médias das cargas de lavagem das superfícies típicas.

Dessa comparação, percebe-se que para alguns parâmetros, como cobre, sulfatos e sódio, a carga de lavagem atmosférica representa aproximadamente 50% da carga total dessas substâncias transportadas pelo escoamento pluvial urbano.

No caso particular essa porcentagem é maior, chegando até 100% da carga total. Uma explicação para a significativa contribuição da carga de lavagem atmosférica pode ser atribuída ao aumento da frota de veículos em circulação em Brasília/DF, que nos últimos dez anos dobrou de tamanho.

Outro fato relevante detectado, embora já conhecido e verificado em outros estudos, é que o pico do polutograma, em geral, ocorre adiantado com relação ao pico do hidrograma de escoamento superficial. A partir dos dados coletados foi estimado inicialmente que aproximadamente entre 80 e 90% da carga poluidora total é transportada pelo volume inicial (20%) do escoamento pluvial urbano. Esta constatação pode ser utilizada para definir critérios de dimensionamento e concepção de estruturas compensatórias de controle de cheias, cuja utilização está em franca expansão no país. Para ilustrar a situação, são apresentados nas figuras 6 e 7 os hidrogramas e polutogramas correspondentes a dois parâmetros, sedimentos em suspensão e DBO, respectivamente, obtidos na área residencial.

Destaca-se aqui, que embora os resultados apresentados nas figuras 6 e 7 correspondam apenas a dois parâmetros (sedimentos em suspensão e DBO), o adiantamento no tempo do pico do polutograma verifica-se de forma geral em todos os demais parâmetros de qualidade analisados. Foi constatado, também, que esse adiantamento não é constante e sim função da quantidade de dias sem chuva antecedente.

A figura 8 mostra a variação da antecipação do tempo ao pico de polutograma (medida como a relação entre a diferença de tempo entre os picos do polutograma e hidrograma, e o tempo ao pico do hidrograma) em função da quantidade de dias sem chuva antecedente. Esses resultados não devem ser considerados como conclusivos uma vez que precisam ser confirmados com um número maior de observações e considerando outros parâmetros de qualidade das águas pluviais urbanas, mas mesmo assim é nítida a dependência entre as variáveis citadas, isto é, antecipação do pico do polutograma

TABELA 3  
Carga de lavagem atmosférica

| Parâmetros       | Unidades          | Valores |        |       |               |
|------------------|-------------------|---------|--------|-------|---------------|
|                  |                   | Mínimo  | Máximo | Média | Desvio padrão |
| PM <sub>10</sub> | µg/m <sup>3</sup> | 65,00   | 113,00 | 83,33 | 16,62         |
| pH               | -                 | 6,30    | 7,40   | 6,78  | 0,40          |
| DQO              | mg/L              | 1,20    | 34,00  | 15,91 | 10,65         |
| Cobre            | mg/L              | 0,01    | 0,83   | 0,05  | 0,19          |
| Sulfatos         | mg/L              | 1,40    | 6,60   | 1,84  | 2,62          |
| Sódio            | mg/L              | 0,20    | 8,40   | 2,54  | 2,58          |
| Zinco            | mg/L              | 0,05    | 1,50   | 0,14  | 1,41          |
| Chumbo           | mg/L              | n.d.    | n.d.   | n.d.  | n.d.          |

n.d.: valor não detectado.

TABELA 4  
Composição do material sólido depositado em ruas e calçadas

| Composição Média (%)   | Área Comercial | Área Residencial | Área de Oficinas |
|------------------------|----------------|------------------|------------------|
| Número de amostras     | 8              | 5                | 7                |
| Quantidade (kg/km.dia) | 56,0           | 21,0             | 86,0             |
| Papel                  | 21,6           | 18,4             | 16,8             |
| Madeira                | 3,8            | 0,9              | 1,0              |
| Plástico               | 20,5           | 25,6             | 21,3             |
| Metal                  | 0,8            | 0,4              | 7,6              |
| Vidro                  | 1,3            | 2,5              | 1,9              |
| Terra (sedimentos)     | 17,1           | 9,6              | 21,4             |
| Material orgânico      | 34,9           | 42,6             | 28,6             |
| Não classificado       | 0,1            | 0,0              | 1,4              |

TABELA 5  
Concentrações médias da carga de lavagem de superfícies típicas

| Parâmetros           | Unidade              | Área Comercial | Área Residencial | Área de Oficinas |
|----------------------|----------------------|----------------|------------------|------------------|
| pH                   | --                   | 7,00           | 6,60             | 6,1              |
| DQO                  | mg/L                 | 66,70          | 110,40           | 54,90            |
| Sulfatos             | mg/L                 | 3,30           | 3,90             | 3,10             |
| Cobre                | mg/L                 | 0,03           | 0,11             | 0,08             |
| Sódio                | mg/L                 | 4,25           | 7,61             | 3,29             |
| Zinco                | mg/L                 | 0,18           | 0,11             | 0,28             |
| Chumbo               | mg/L                 | 0,03           | 0,04             | 0,13             |
| Sólidos em suspensão | mg/L                 | 85,00          | 141,00           | 124,50           |
| Sólidos dissolvidos  | mg/L                 | 50,00          | 56,00            | 72,20            |
| Óleos e graxas       | mg/L                 | 11,10          | 13,10            | 15,24            |
| DBO                  | mg/L                 | 8,10           | 11,00            | 10,3             |
| Fósforo              | mgPO <sub>4</sub> /L | 0,20           | 0,70             | 0,40             |
| Nitrogênio amoniacal | mg/L                 | 0,36           | 0,38             | 0,34             |
| Coliformes totais    | NMP/100ml            | 650000         | 870000           | 160000           |
| E-Coli               | NMP/100ml            | 16000          | 37000            | 23000            |

TABELA 6  
Comparação entre cargas de lavagem atmosférica e de superfícies típicas

| Parâmetros | Unidade | Carga de lavagem média |           |             |          |
|------------|---------|------------------------|-----------|-------------|----------|
|            |         | Atmosfera              | Comercial | Residencial | Oficinas |
| pH         | --      | 6,78                   | 7,00      | 6,60        | 6,10     |
| DQO        | mg/L    | 15,91                  | 66,70     | 110,40      | 54,90    |
| Sulfatos   | mg/L    | 1,84                   | 3,30      | 3,90        | 3,10     |
| Cobre      | mg/L    | 0,05                   | 0,03      | 0,11        | 0,08     |
| Sódio      | mg/L    | 2,54                   | 4,25      | 7,61        | 3,29     |
| Zinco      | mg/L    | 0,14                   | 0,18      | 0,11        | 0,28     |
| Chumbo     | mg/L    | n.d.                   | 0,03      | 0,04        | 0,13     |

n.d.: valor não detectados.

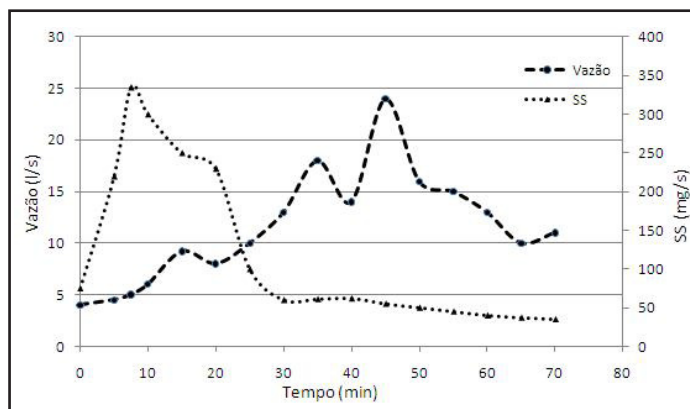


FIGURA 6. Variação temporal da vazão do escoamento superficial e da concentração de sedimentos em suspensão na área residencial.

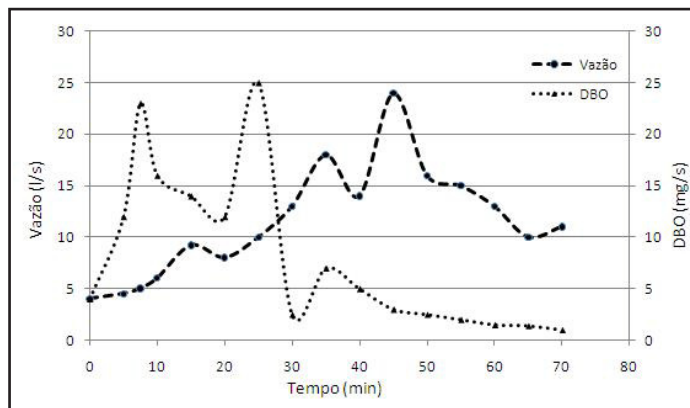


FIGURA 7. Variação temporal da vazão do escoamento superficial e da concentração de DBO na área residencial.

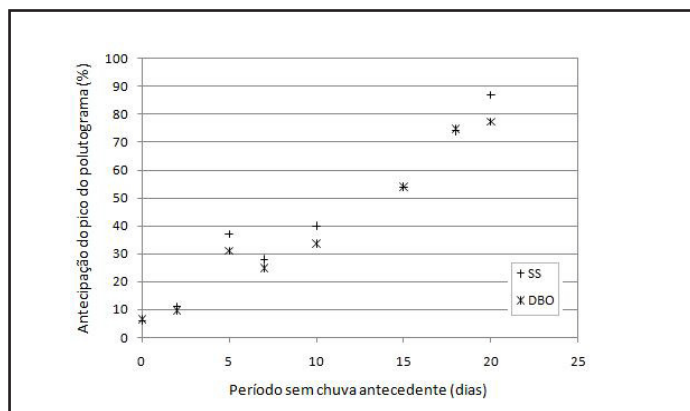


Figura 8. Antecipação do tempo ao pico do polutograma em relação ao tempo ao pico do hidrograma de escoamento superficial.

em relação ao pico do hidrograma; e período sem chuvas antecedentes.

Um aspecto importante de destacar é a particularidade da ocupação na cidade de Brasília. Por ser uma cidade planejada, a mesma está dividida em setores com ocupação específica, isto é, há áreas destinadas exclusivamente a uso residencial, ou comercial, ou industrial, entre outras ocupações. Este fato, por um lado, facilita a delimitação de áreas com usos uniformes e específicos, mas por outro, dificulta a

extrapolação dos dados e informações obtidos para outros centros urbanos, onde a ocupação ocorre de forma misturada entre os diversos tipos (residencial, comercial, industrial, etc).

Pela razão antes comentada, além do monitoramento das três áreas com ocupação específica, foi monitorada também a bacia hidrográfica como um todo. Para tanto, foram considerados dois pontos de monitoramento; um na cabeceira da bacia; e outro no exutório da bacia. Desta forma, esses resultados

**TABELA 7**  
**Qualidade do escoamento superficial para a bacia toda**

| Parâmetros                  | Cabeceira | Saída     |
|-----------------------------|-----------|-----------|
| Temperatura (° C)           | 19,2      | 25,5      |
| pH                          | 6,25      | 6,67      |
| Condutividade (µS/cm)       | 25,0      | 87,1      |
| DQO (mg/l)                  | 17,0      | 55,6      |
| DBO (mg/l)                  | 2,15      | 16,8      |
| Sól. Suspensão (mg/l)       | 13,25     | 96,8      |
| Nitrato (mg/l)              | 0,5       | 1,38      |
| Colif. Totais (NMP/100 ml)  | 342.000   | 1.836.000 |
| Colif. Termos. (NMP/100 ml) | 15.600    | 198.600   |
| Ortofosfato (mg/l)          | 0,06      | 0,16      |
| Óleos e Graxas (mg/l)       | 16,4      | 14,2      |

**TABELA 8**  
**Concentração dos principais metais presentes no escoamento superficial para a bacia toda**

| Elemento | Concentração (mg/l) |           | Elemento | Concentração (mg/l) |           |
|----------|---------------------|-----------|----------|---------------------|-----------|
|          | Saída               | Cabeceira |          | Saída               | Cabeceira |
| Sr       | 0,004               | 0,001     | Al       | 5,976               | 1,324     |
| La       | 0,004               | 0,022     | Cr       | 0,005               | 0,017     |
| Y        | 0,001               | 0,003     | Mn       | 0,022               | 0,004     |
| Ti       | 0,141               | 0,030     | Ba       | 0,011               | 0,013     |
| Ca       | 1,312               | 0,877     | Co       | 0,002               | 0,007     |
| V        | 0,005               | 0,021     | Zn       | 0,078               | 0,044     |
| Mg       | 0,360               | 0,074     | Pb       | 0,118               | 0,436     |
| Fe       | 0,555               | 0,105     | Cd       | 0,003               | 0,026     |
| Si       | 2,153               | 0,563     | P        | 0,091               | 0,059     |
| Ni       | 0,020               | 0,003     | Mo       | 0,007               | 0,035     |
| Zr       | 0,009               | 0,010     | Cu       | 0,004               | 0,007     |

(apresentados nas tabelas 7 e 8) refletem o comportamento da bacia hidrográfica urbana como um todo, e não mais por tipos específicos de usos e ocupação.

Verifica-se de um modo geral, como era esperado, que a concentração dos principais parâmetros de qualidade da água aumenta da cabeceira da bacia para a saída da bacia, com exceção da concentração de óleos e graxas que diminui. Esta situação pode estar associada ao fato de que as principais fontes desses elementos (autódromo, oficinas, ruas de maior trânsito de veículos, etc) estarem localizadas na zona de cabeceira da bacia; enquanto a zona próxima à saída é pouco ocupada e com menor trânsito de veículos. Assim, a medida que aumenta a área de drenagem aumenta a vazão do escoamento superficial numa proporção maior que a concentração dessas substâncias promovendo a diluição das mesmas.

## CONCLUSÕES

Os valores encontrados para a carga poluente oriunda da lavagem atmosférica assim como da superfície dos pavimentos devem ser tomados com reservas pois trata-se de uma primeira estimativa realizada com base num número reduzido de eventos observados. Contudo, há indícios claros da relação dessas cargas com o tempo de recorrência das chuvas e com a qualidade do escoamento pluvial urbano.

Embora os resultados não permitam obter conclusões definitivas a respeito da poluição difusa que afeta o escoamento superficial urbano, são considerados como muito significativos no contexto da realidade brasileira onde prevalece a condição de desconhecimento quase que absoluto da qualidade do escoamento pluvial urbano, que impede a adoção de medidas mais efetivas para seu controle.

Outro fato relevante é a comprovação da existência na bacia hidrográfica monitorada de um proble-

ma presente na maioria das cidades que adotam um sistema separador absoluto para esgoto: a contaminação das águas pluviais pela ligação clandestina de esgoto doméstico. A constatação foi possível por meio do monitoramento do escoamento nas galerias da drenagem pluvial em dias sem precipitação, inferindo que nesta situação o escoamento detectado, assim como a sua qualidade seriam decorrentes de lançamentos clandestinos ou infiltrações na rede de drenagem. Esta contaminação constituiu um fator complicador na identificação dos poluentes mais significativos decorrentes da poluição difusa e valoração respectiva das concentrações médias ao longo do tempo.

Finalmente ressalta-se que a pesar de significativamente altas as concentrações médias dos diversos parâmetros de qualidade monitorados, em termos de carga total de poluentes apenas na primeira fração do escoamento superficial, estimada em 20% do escoamento total, é comprometida de maneira expressiva, pois essa parcela do escoamento transporta aproximadamente 85% da carga total dos poluentes detectados. Na parcela restante do escoamento, os valores observados para a concentração dos diversos parâmetros de qualidade é relativamente baixa. Também, pode se concluir que o grau de comprometimento da qualidade da fração inicial do escoamento é diretamente proporcional ao tempo sem chuva antecedente.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e ao Conselho Nacional de desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que financiam o Projeto de pesquisa “Manejo de Águas Pluviais no Distrito Federal”, no contexto do qual foi desenvolvida a presente pesquisa.

## Referências

- Butler, D., Clark, P. Sediment Management in Urban Drainage Catchments. Construction Research and Information Association, CIRIA, Report 134. London, 1995.
- Campana, N.A., Silva, J.A. (2008). Avaliação da carga de poluição difusa na drenagem pluvial urbana de Brasília. VIII Seminário Ibero-americano sobre sistemas de abastecimento urbano de água. Lisboa, Portugal.
- Campana, N.A., Bernardes, R. S., Silva, J.A. “Controle Qualitativo e Quantitativo do Escoamento Pluvial Urbano com Bacias de Detenção”, Revista Ambi-Água, Taubaté, v. 2, n. 3, p. 98-111, 2007.
- Chapman, D. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. Edited by Deborah Chapman, London: E & FN Spon, 2nd ed. 626 p, 1998.

Dotto, C. B. S., Acumulação e Balanço de Sedimentos em Superfícies Asfálticas em Área Urbana de Santa Maria-RS, Dissertação de Mestrado, CT-PGEC, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, Brasil, 2006.

Driscoll, E. D., Shelley, P. E., E.W. Strecker (1990). *"Pollutant Loadings and Impacts from Stormwater Runoff"*, Volume III: Analytical Investigation and Research Report. FHWA-RD-88-008, Federal Highway Administration.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2000). Censo Demográfico 2000, Brasília/DF, Brasil, acessado em 13 de março de 2008, em [ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo\\_Demografico\\_2000/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2000/)

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2008). Relatório Sobre as Condições de Tempo Registradas nas Capitais, Normal Climatológica para Brasília/DF, registros de 1961 a 1990, acessado em 13 de março de 2008, em <http://www.inmet.gov.br/html/observacoes.php?lnk=Capitais>.

Prodanoff, J. H. A. (2005). Avaliação da Poluição Difusa Gerada por Enxurradas em Meio Urbano. Tese de Doutorado. UFRJ-COPPE.

Silva, G. B. L. Avaliação Experimental da Eficiência de Superfícies Permeáveis com Vistas ao Controle do Escoamento Superficial, 199f, Tese de Doutorado, FT-PTHAR, Universidade de Brasília, Brasília/DF, Brasil, 2006.

U.S. Environmental Protection Agency (2005). National Management Measures to Control Nonpoint Pollution from Urban Areas. EPA-841-B-05-004. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC.

Valiron F., Tabuchi J. P. Maitrise de la Pollution Urbaine par Temps de Pluie. Paris: Technique et Documentation-Lavoisier, 564 p. 1992.

**Nestor Aldo Campana** Departamento de Engenharia Civil e Ambiental  
– ENC, Faculdade de Tecnologia – FT, Universidade de Brasília – UnB.  
E-mail: [mnestor@unb.br](mailto:mnestor@unb.br)

**Ricardo Silveira Bernardes** Departamento de Engenharia Civil e Ambiental  
– ENC, Faculdade de Tecnologia – FT, Universidade de Brasília – UnB.  
E-mail: [ricardo@unb.br](mailto:ricardo@unb.br)



## Presentación de artículos

Los artículos pueden ser presentados en español, portugués o inglés. El resumen deberá ser enviado obligatoriamente en lo mismo idioma y abstract en inglés (para trabajos en español y portugués) y, en español (para trabajos en inglés).

### FORMATO

El archivo debe ser enviado en medio magnético, acompañado de dos copias impresas. Los archivos deben estar en Word, versión reciente.

Configuración de la página: tamaño: A4 (210 x 297mm); márgenes: 2,5 cm en todas las direcciones;

Espacio doble, letra Times New Roman 12;

Número máximo de páginas igual a 25, incluyendo tablas, figuras, ecuaciones y referencias. Estas deben estar numeradas de 1 a n. Las tablas y figuras deben tener título. Las figuras deben ser enviadas también en archivo separado en formato TIF, 300dpi.;

Todas las referencias citadas en el texto deben estar listadas en la bibliografía. En el texto del artículo la referencia debe ser escrita, en minúsculas y entre paréntesis, como apellido y año e. g. (Araujo, 2001). Referencias con dos autores serán citadas como: (Araujo y Campos, 2001). Para el caso de más de dos autores será: (Araujo et al., 2001). En la bibliografía las referencias serán listadas en orden alfabético del apellido del primer autor, el que debe ser escrito en mayúsculas, e. g. :

ARAUJO, J., Campos, E. y Silva, C., 2001. Política de Recursos Hídricos em Pernambuco. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. vol. 7, nro 1, p. 232-253. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. [www.abrh.org.br](http://www.abrh.org.br)

Cuando sea posible, deberá ser indicada una página de Internet relacionada a la publicación citada, como indicado en el ejemplo.

La numeración de las ecuaciones debe estar a la derecha y todos sus términos deben estar definidos en el texto.

Todas las tablas y figuras deben estar citadas en el texto.

Los interesados en publicar artículos en la revista deben preparar el mismo de acuerdo con el formato indicado y enviarlo a:

ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos  
Av. Bento Gonçalves, 9500 – IPH/UFRGS  
Caixa Postal 15029 -  
CEP 91501-970 – Porto Alegre, RS, Brasil  
E-mail: [rega@abrh.org.br](mailto:rega@abrh.org.br)

## Chamada de artigos

Os artigos devem ser submetidos em espanhol, português ou inglês. Deverá ser enviado, obrigatoriamente, resumo no mesmo idioma e em inglês (para trabalhos em português e espanhol) e, em espanhol (para trabalhos em inglês).

### FORMATO

O arquivo deve ser enviado por meio magnético, acompanhado de duas cópias impressas. Os arquivos devem estar em Word, versão recente.

Configurações da página: tamanho A4 (210 x 297mm); margens 2,5 cm em todas as direções;

Espaçamento duplo, tipografia Times New Roman, corpo 12;

Número máximo de páginas igual a 25, incluindo tabelas, figuras, equações e referências. Estas devem estar numeradas de 1 a n. As tabelas e figuras necessitam ter título. As figuras devem ser enviadas também em arquivo separado, em formato TIF, resolução 300 dpi.

Todas as referências citadas no texto devem estar listadas na bibliografia. No texto do artigo a referência deve ser escrita em minúsculas e entre parênteses, como sobrenome e ano (Araujo, 2001). Referências com dois autores serão citadas como: (Araujo e Campos, 2001). Na bibliografia as referências serão listadas em ordem alfabética do sobrenome do primeiro autor, que deve ser em maiúsculas:

ARAUJO, J., Campos, E. e Silva, C., 2001. Política de Recursos Hídricos em Pernambuco. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. vol.7, n.1, p.232-253. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. [www.abrh.org.br](http://www.abrh.org.br)

Sempre que possível, deverá ser indicada uma página de Internet, relacionada à publicação citada, como no exemplo acima.

A numeração das equações deve estar à direita e todos os seus termos devem ser descritos no texto.

Todas as tabelas e figuras devem ser mencionada no texto.

Os interessados em publicar artigos na revista devem preparar o mesmo de acordo com o formato citado e submetê-lo a:

ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos  
Av. Bento Gonçalves, 9500 – IPH/UFRGS  
Caixa Postal 15029 -  
CEP 91501-970 – Porto Alegre, RS, Brasil  
E-mail: [rega@abrh.org.br](mailto:rega@abrh.org.br)

