

SISTEMA DE SUPORTE A DECISÃO PARA ANÁLISE DE REQUERIMENTOS DE OUTORGA DE ÁGUAS SUPERFICIAIS NO ESTADO DE SÃO PAULO – VERSÃO PRELIMINAR

Silvana Susko Marcellini¹; Honório Lisboa Neto²; Francisco Nunes Gusso³; Mario Nakashima⁴; José Marcílio Fonseca⁵; Leila de Carvalho Gomes⁶ e Rubem La Laina Porto⁷

Resumo – o artigo apresenta a versão preliminar de um Sistema de Suporte a Decisão (SSD) para a análise de requerimentos de outorga do uso das águas superficiais, no Estado de São Paulo. O sistema utiliza tecnologia SIG (Sistema de Informações Geográficas) para consulta à base de dados contendo informações georreferenciadas e tabulares e do cálculo do balanço hídrico superficial. O SSD representa um módulo do Projeto GISAT, que tem por finalidade a implantação, no DAEE, de um sistema georreferenciado de informações sobre os múltiplos usos da água no Estado de São Paulo, para aumentar a eficiência do Departamento no exercício de suas atividades de gerenciamento e fiscalização dos recursos hídricos, de acordo com o que prevê a Lei 7663/91. Esse sistema será composto por uma série de módulos, que têm por objetivo agilizar a tramitação dos processos de outorga e, ao mesmo tempo, aumentar a segurança na elaboração de pareceres técnicos de análise daqueles processos. Entre os módulos, foi previsto o SSD para análise de requerimentos de outorga de usos superficiais.

Palavras-Chave – outorga, sistema de suporte a decisão

DECISION SUPPORT SYSTEM (DSS) FOR THE ANALYSIS OF REQUIREMENTS FOR GRANTING THE USE OF SURFACE WATER IN THE STATE OF SÃO PAULO

Abstract – The paper presents the preliminary version of a Decision Support System (DSS) for the analysis of requirements for granting the use of surface water in the state of São Paulo. The system uses GIS technology (Geographic Information System) to query the database of geo-referenced and tabular information and surface water balance calculation. The DSS is a GISAT Project module, which aims to implement, in DAEE, a system of geo-referenced information on the multiple uses of water in the State of São Paulo, to increase the efficiency of the Department in their management and monitoring activities on water resources in accordance with the 7663/91 Law. This system will consist of a series of modules that aim to streamline the procedures for granting and at the same time, increase the safety in the technical analysis of those processes. Among the modules, the DSS was provided to analyze the grant requirements for surface uses.

Keywords – Decision Support System.

¹ INNOVARE Engenharia Ltda:susko@uol.com.br

² EPUSP/PHA/LABSID:hlneto@gmail.com

³ DAEE/DPO: fgusso@sp.gov.br

⁴ DAEE/DPO: fgusso@sp.gov.br

⁵ DAEE/DPO: in memoriam

⁶ DAEE/DPO: lgomes.sp.gov.br

⁷ EPUSP/PHA/LABSID:rlporto@usp.br

INTRODUÇÃO

O Projeto GISAT tem por finalidade a implantação, no DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, de um sistema georreferenciado de informações sobre os múltiplos usos da água no Estado de São Paulo, para aumentar a eficiência do Departamento no exercício de suas atividades de gerenciamento e fiscalização dos recursos hídricos, de acordo com o que prevê a Lei 7663/91 e sua regulamentação, bem como disponibilizar ao meio técnico e à sociedade, informações consistidas e tratadas, necessárias ao planejamento, elaboração de projetos e execução de obras que utilizem ou interfiram nesses recursos.

Esse sistema será composto por uma série de módulos, que têm por objetivo agilizar a tramitação dos processos de outorga e, ao mesmo tempo, aumentar a segurança na elaboração de pareceres técnicos de análise daqueles processos. Entre os módulos, foi previsto um Sistema de Suporte a Decisão (SSD) para análise de requerimentos de outorga de usos das águas superficiais. A atual versão do SSD permite além da consulta à base de dados, a simulação do balanço hídrico superficial com base nas vazões de referência ou restrição nos cursos d'água escolhidas pelo usuário. O cálculo das vazões de referência é realizado de acordo com o Estudo de Regionalização Hidrológica do Estado de São Paulo, DAEE (1988).

A seguir é apresentado um resumo da metodologia e da interface do SSD.

METODOLOGIA

O Sistema de Suporte a Decisão (SSD) para a análise de requerimentos de outorga do uso das águas superficiais, no Estado de São Paulo foi desenvolvido com base em três componentes principais:

- a) Base de dados;
- b) Metodologia para o cálculo do balanço hídrico superficial;
- c) Interface do sistema.

Base de Dados

A base de dados do sistema é composta basicamente pelos seguintes elementos:

- a) Base cartográfica digital do Estado de São Paulo fornecida pelo DAEE

As informações cartográficas necessárias ao sistema concebido são a hidrografia da bacia hidrográfica a ser analisada e as respectivas sub-bacias (microbacias) para cada trecho de rio. Esta base cartográfica faz parte do projeto GISAT, em desenvolvimento pelo DAEE. É importante destacar que a escala original das cartas topográficas digitalizadas é de 1:50.000.

- b) Cadastro de outorga dos usos das águas superficiais do DAEE

A versão atual do SSD acessa os principais dados dos usuários cadastrados no DAEE, necessários ao cálculo do balanço hídrico superficial. São eles: localização, através das suas coordenadas, vazão outorgada, vazão requerida, distância do uso à foz do trecho do rio, informação sobre o meridiano central, em graus.

c) Parâmetros da regionalização hidrológica do Estado de São Paulo

Para a obtenção das vazões de referência ou restrição nos cursos d'água foi utilizado o Estudo de Regionalização Hidrológica do Estado de São Paulo DAEE (1988), disponível no SIGRH - Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Em função da modelagem da estrutura da base de dados concebida para o SSD os parâmetros de regionalização (precipitação total anual média, as regiões hidrológicas semelhantes - regiões de A a U e as regiões hidrológicas semelhantes quanto ao parâmetro C - regiões de X a Z) necessários para a obtenção das vazões de restrição devem estar associados ao layer das sub-bacias.

Metodologia para o cálculo do Balanço Hídrico

Para a análise dos critérios de outorga atualmente praticados no Estado de São Paulo foi utilizado como referência a publicação desenvolvida pelo DAEE (2003) "Balanço Hídrico – Critérios e Procedimentos". A metodologia apresentada neste documento contempla a estrutura do GISAT. Objetiva estimar, em qualquer seção de um curso d'água, a vazão de estiagem resultante da contabilização da vazão natural disponível, das captações e dos lançamentos. Para empreendimentos novos, permite a verificação da disponibilidade hídrica superficial para suprir as necessidades requeridas. Como apoio à análise de bacias em situação crítica de disponibilidade, possibilita identificar a condição de cada trecho, os efeitos de cada uso e a quantificação dos problemas.

A seguir é apresentado um resumo para explicar a metodologia utilizada no sistema SSD Outorga DAEE para efetuar o balanço hídrico.

A Figura 1 ilustra a representação genérica de uma bacia hidrográfica como unidade do balanço hídrico.

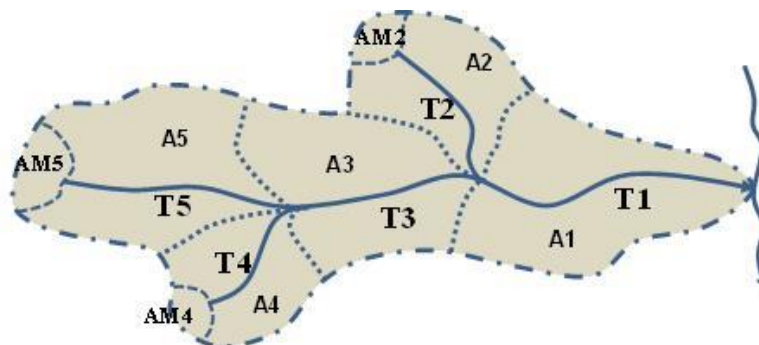


Figura 1: Representação de uma bacia hidrográfica considerada como uma Unidade de Balanço (UB).

A seguir é apresentado como a bacia hidrográfica é discretizada para efeito do balanço hídrico superficial:

- Delimitação da bacia hidrográfica da UB;
- Definição dos trechos de toda a hidrografia;
- Delimitação das sub-bacias e das linhas de nascentes, em função dos trechos definidos;
- Numeração dos trechos e respectivas sub-bacias, de jusante para montante (no exemplo da Figura 1, os trechos e sub-bacias são numerados de 1 a 5).

As principais características de um trecho qualquer “i”, de uma UB, são apresentadas a seguir:

- Identificação do trecho: T_i ;
- Seção da extremidade de jusante – foz do trecho: E_{Ji} ;
- Seção da extremidade de montante: E_{Mi} ;
- Extensão (km) – distância, medida em projeção pelo talvegue, entre a seção da extremidade de jusante (foz do trecho) e a seção da extremidade de montante: L_i ;
- Área de drenagem delimitada pela seção E_{Mi} : A_{Mi} ;
- Área de drenagem delimitada pela seção E_{Ji} : A_{Ji} ;
- Área de drenagem do trecho T_i , entre as extremidades de montante e de jusante: A_i ;
- $A_{Ji} = A_{Mi} + A_i$
- Associados a uma seção qualquer ($S_{i,n}$), localizada num trecho de rio T_i , tem-se os seguintes parâmetros:
 - Distância à foz do trecho (E_{Ji}): $L_{i,n}$ (sendo $L_{i,n} \leq L_i$)
 - Área de drenagem da sub-bacia delimitada pela seção $S_{i,n}$ (interpolação): $A_{i,n} = A_{Mi} + A_i \frac{(L_i - L_{i,n})}{L_i}$

A seguir é apresentado um exemplo para ilustrar as variáveis utilizadas no processamento do balanço hídrico das águas superficiais do SSD.

Exemplo 1: considerando dois usos instalados no trecho T5 da Figura 1, um lançamento e uma captação.

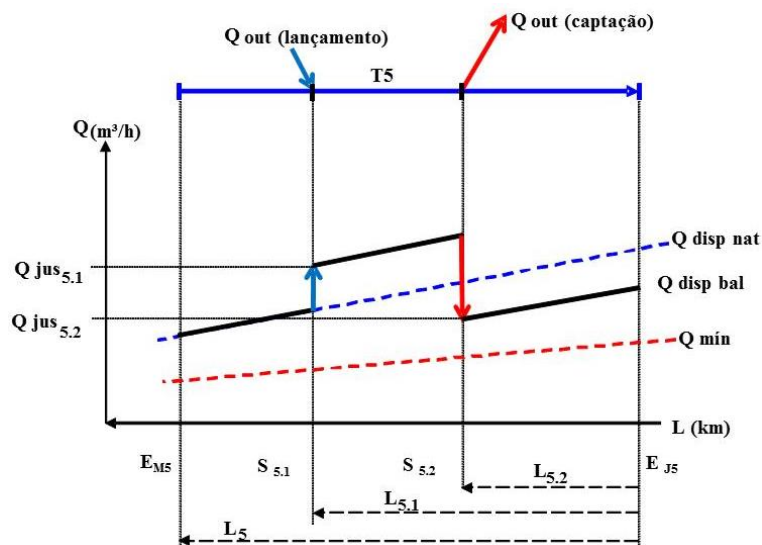


Figura 2: Representação esquemática do trecho de rio - T5

Dados:

- Área de drenagem a montante do trecho T5: A_{M5}

- Área de drenagem do trecho T5: A_5
- Extensão do trecho T5: L_5
- Distância da foz do trecho (E_{J5}) até as seções $S_{5.1}$ e $S_{5.2}$: $L_{5.1}$ e $L_{5.2}$ (respectivamente - posição das seções dos usos inseridos ou existentes no trecho)
- Vazões de referência para a disponibilidade natural e para a vazão mínima (exigida como mínima remanescente a jusante de qualquer seção): Q disponível natural específica ($Q_{D\ esp}$) e Q mínima específica ($Q_{m\ esp}$), em $m^3/h.km^2$
- Vazão disponível natural e vazão mínima em qualquer seção $S_{i,n}$:

$$Q_{D\ i,n} = Q_{D\ esp\ i,n} \times A_{i,n}$$

O cálculo do balanço hídrico superficial no trecho T5, dado como exemplo, é obtido conforme segue:

- Determinação das áreas de drenagem limitadas pelas seções dos usos, $S_{5.1}$ e $S_{5.2}$:

$$A_{5.1} = A_{M5} + A_5 (L_5 - L_{5.1})/L_5$$

$$A_{5.2} = A_{M5} + A_5 (L_5 - L_{5.2})/L_5$$

- Determinação da vazão natural (Q_D) disponível e da mínima (Q_m) em cada seção:

$$Q_{D\ M5} = A_{M5} \cdot Q_{D\ esp}$$

$$Q_{m\ M5} = A_{M5} \cdot Q_{m\ esp}$$

$$Q_{D\ 5.1} = A_{5.1} \cdot Q_{D\ esp}$$

$$Q_{m\ 5.1} = A_{5.1} \cdot Q_{m\ esp}$$

$$Q_{D\ 5.2} = A_{5.2} \cdot Q_{D\ esp}$$

$$Q_{m\ 5.2} = A_{5.2} \cdot Q_{m\ esp}$$

$$Q_{D\ J5} = A_{J5} \cdot Q_{D\ esp}$$

$$Q_{m\ J5} = A_{J5} \cdot Q_{m\ esp}$$

- Balanço hídrico superficial – seções e vazões correspondentes:

$$E_{M5}: Q_{D\ M5} = Q_{DB\ M5} = Q_{J\ M5} \dots \text{(não há usos a montante)}$$

$$S_{5.1}: Q_{DB\ 5.1} = Q_{D\ 5.1} \dots \text{(não há usos a montante)}$$

$$Q_{J\ 5.1} = Q_{DB\ 5.1} + Q_{Out\ 5.1} \dots \text{(lançamento)}$$

$$Déficit_{5.1} = 0 \dots \dots \dots (Q_{J\ 5.1} \geq Q_{m\ 5.1})$$

$$S_{5.2}: Q_{DB\ 5.2} = Q_{J\ 5.1} + (Q_{D\ 5.2} - Q_{D\ 5.1})$$

$$Q_{J\ 5.2} = Q_{DB\ 5.2} - Q_{Out\ 5.2} \dots \text{(captação)}$$

$$Déficit_{5.2} = 0 \dots \dots \dots (Q_{J\ 5.2} \geq Q_{m\ 5.2})$$

$$E_{J5}: Q_{DB\ J5} = Q_{J\ 5.2} + (Q_{D\ J5} - Q_{D\ 5.2})$$

$$Q_{J\ J5} = Q_{DB\ J5}$$

$$Déficit_{J5} = 0 \dots \dots \dots (Q_{jus\ J5} \geq Q_{mín\ J5})$$

No item a seguir é apresentada a interface do SSD Outorga DAEE.

INTERFACE DO SISTEMA

A interface do sistema SSD Outorga DAEE é uma interface Windows que permite o acesso e navegação do "usuário - sistema". A interface utiliza tecnologia SIG (Sistema de Informações Geográficas) para consulta à base de dados contendo informações georreferenciadas e tabulares e do cálculo do balanço hídrico superficial.

Ao inicializar o SSD uma tela traz informações sobre a versão e as parcerias no desenvolvimento do sistema e informações a serem preenchidas pelo usuário ("Login" e "Senha").

A interface usuário-sistema do SSD Outorga DAEE é composta pelos seguintes itens (vide Figura 3):

- Menu Principal;
- Barra de Botões;
- Informações sobre o cenário em uso (nome do cenário e nomes dos layers das sub-bacias e trechos dos rios);
- Barra de Status: uma barra inferior de informações que informa as coordenadas UTM e Latitude/Longitude, meridiano central do fuso para as coordenadas UTN, escala em que o mapa é visualizado e um espaço reservado para informações de comandos, quando ferramentas geográficas são acionadas;
- Três quadros de dimensões ajustáveis: estes podem ser redimensionados clicando e arrastando as suas molduras;
 - área da legenda: quadro no canto superior esquerdo que contém a relação dos layers carregados;
 - mapa principal: quadro maior que contém o mapa principal e a escala gráfica;
 - mini-mapa: serve de referência ao que está sendo mostrado no mapa principal.

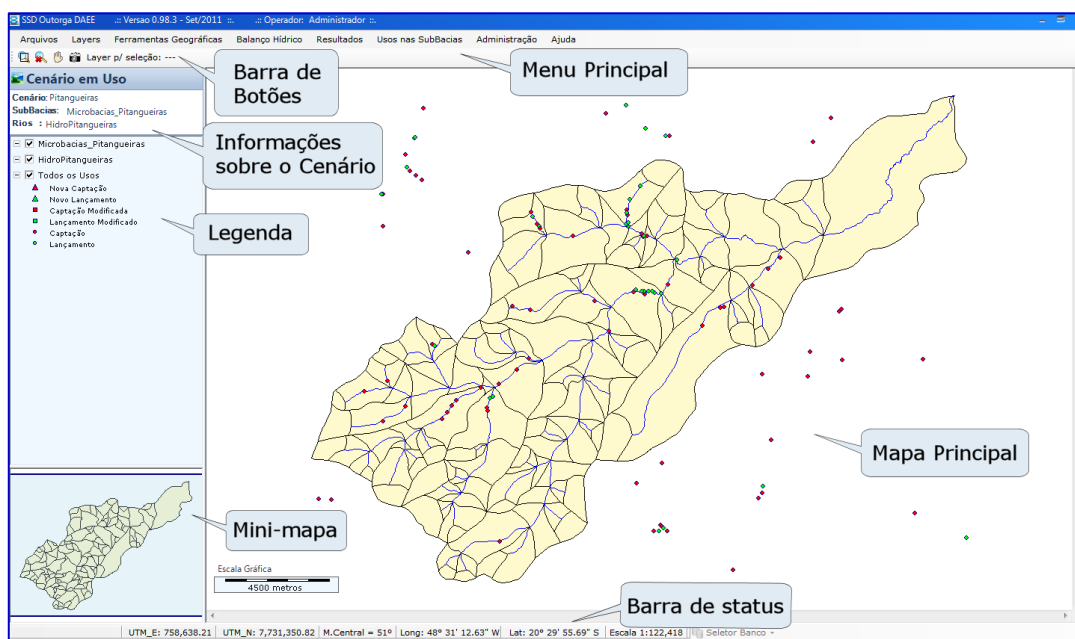


Figura 3: Componentes do SSD de Outorga

Através da interface do SSD é possível realizar 5 etapas importantes:

- a) Carregamento dos dados georreferenciados necessários: trechos dos rios e as respectivas microbacias e os usos para a área de abrangência;

- b) Inserção de novos usos (via tela ou por coordenadas do local);
- c) Definição das vazões de referência para que se proceda o balanço hídrico;
- d) O cálculo do balanço hídrico propriamente dito;
- e) Consulta aos resultados por planilhas e através de gráficos.

A título ilustrativo, a Figura 3 apresenta a tela do SSD com os dados já carregados (trechos dos rios e as respectivas microbacias por trecho de rio e todos os usos, representados graficamente por pontos). Para fazer algumas análises com os usos carregados, o SSD Outorga DAEE permite que se criem cenários. No cenário é possível editar os dados dos usuários, tendo a garantia de preservação dos dados originais.

Após carregar os dados necessários da bacia hidrográfica (microbacias e trechos) e os usos, o cálculo do balanço hídrico é feito através da definição das vazões de referência. Esta definição inclui as vazões de referência para o cálculo da disponibilidade natural de estiagem, com 2 opções, $Q_{7,T}$ e $Q_{P\%}$ (vazão de 7 dias com período de retorno de T anos e vazão com permanência p%) e também a definição da vazão mínima a ser mantida a jusante, como restrição imposta. Para esta definição também há 2 opções disponíveis, $Q_{7,T}$ e $Q_{P\%}$ (vazão mínima média de 7 dias consecutivos com período de retorno de T anos e vazão com permanência p%). Após definidas as vazões de referência, pode-se fazer o cálculo do “Balanço Hídrico”. Como apresentado no exemplo ilustrado anteriormente, o balanço hídrico é calculado considerando todos os trechos e respectivas microbacias carregados na área do mapa. Os resultados do balanço hídrico podem ser visualizados no SSD através de planilhas, na forma de gráficos e através de um mapa temático que apresenta o máximo déficit obtido nas microbacias, através de uma visualização cromática, conforme ilustrado na Figura 4.

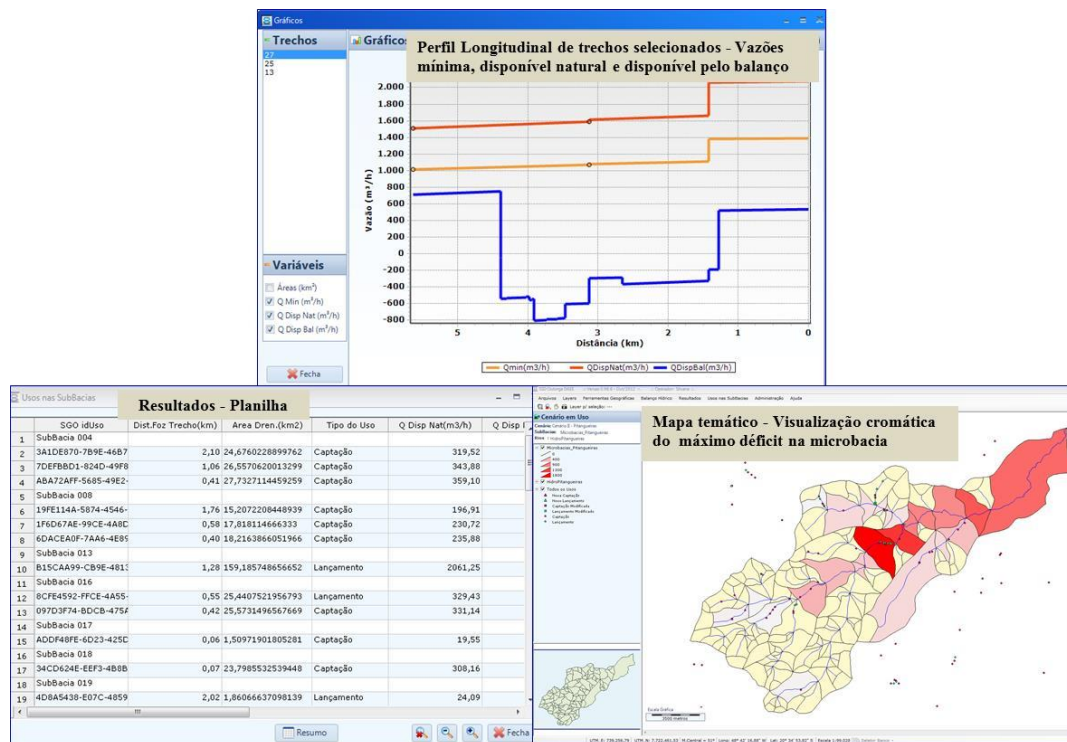


Figura 4: Apresentação dos Resultados – SSD Outorga DAEE

COMENTÁRIOS FINAIS

A verificação do estado de demandas x disponibilidade, proporcionada pelo aplicativo aqui descrito, de forma rápida, utilizando informações do banco de dados de outorga do DAEE, é uma meta importante para a Autarquia responsável pelas outorgas de usos de recursos hídricos no Estado de São Paulo. O programa permite visualizações imediatas da situação de cada trecho de rio e sub-bacia de uma unidade de balanço pré-definida, permitindo antecipar decisões, tanto no âmbito da outorga, como dos comitês de bacias hidrográficas.

A versão preliminar do SSD Outorga pôde ser avaliada por técnicos do DAEE e demonstrou ser uma ferramenta essencial e muito útil nas análises de requerimentos de usos de águas superficiais. A demonstração imediata de como a introdução de uma captação interfere em todas as seções com usos a jusante e de como os usos situados a montante alteram o regime de vazões mínimas na seção de estudo permite avaliar, para cada disponibilidade definida, a sustentabilidade das demandas, ou o risco de falhas.

Segundo a área de outorga do DAEE, os experimentos realizados com dados reais, em 2012, demonstraram o quanto à ferramenta é importante, trazendo maior consistência para os estudos da criticidade das bacias hidrográficas quanto às demandas. O SSD Outorga proximamente deverá passar por modificações e aperfeiçoamentos no que diz respeito a sua utilização dentro do sistema de outorga eletrônica em desenvolvimento pelo DAEE. A Autarquia, que entre 2000 e 2007 já produziu a base topográfica contínua do estado de São Paulo, com todas as cartas do IBGE na escala 1:50.000, está digitalizando as áreas de drenagem de toda a hidrografia dessa base contínua, discretizando sub-bacias e trechos de rio e linhas de nascente. O objetivo desse trabalho é poder utilizar o SSD-Outorga em qualquer sub-bacia do território do estado.

AGRADECIMENTOS

Ao FEHIDRO- Fundo Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo pelos recursos financeiros.

À FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica empresa contratada para o desenvolvimento dos trabalhos.

Ao LabSid - Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões em Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos, vinculado ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da USP, pelo desenvolvimento do SSD-Outorga.

Ao engenheiro José Marcílio Fonseca, da Diretoria de Procedimentos de Outorga e Fiscalização do DAEE, falecido em dezembro de 2013, que com gênio e criatividade tornou possível este projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. DAEE (1988) - Estudo de Regionalização Hidrológica do Estado de São Paulo - Revista Águas e Energia Elétrica, ano 5 – nº 14, 1988.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. DAEE (2003) Balanço Hídrico – Critérios e Procedimentos, maio de 2003.