

## O Paradigma da Modelagem Orientada a Objetos Aplicada a Sistemas de Recursos Hídricos (II) Modelo de Objetos Aplicado ao Planejamento de Uso da Água Propagar MOO

João Soares Viegas Filho

Universidade Federal de Pelotas - Campus Universitário do Capão do Leão Caixa Postal 354 – Pelotas/RS - jsviegas@uol.com.br

Antonio Eduardo Leão Lanna

Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH-UFRGS - Av. Bento Gonçalves, 9500, Caixa Postal 15029 - CEP:91501-970 Porto Alegre RS  
lanna@jf.ufrgs.br

Recebido: 27/07/01 – revisão: 12/06/02 – aceito: 15/04/03

---

### RESUMO

*A Modelagem Orientada a Objetos (MOO) é uma metodologia de modelagem capaz de ser aplicada com vantagens conceituais e práticas na concepção de modelos aplicados a Sistemas de Recursos Hídricos, em Geral, e à Sistemas de Apoio à Decisão, nesse contexto, em particular.*

*O artigo que a este antecede, apresentou os fundamentos básicos da MOO, um Modelo Básico de Objetos e uma Biblioteca de Classes Básica aplicados a Sistemas de Recursos Hídricos baseados sobre uma Rede Hidrográfica. Em continuidade, este artigo apresenta um Modelo de Objetos Especializado aplicado ao Planejamento de Uso da Água em Bacias Hidrográficas, denominado PROPAGAR MOO, materializado através de uma Biblioteca de Classes Especializada, destinada ao desenvolvimento de modelos com esse propósito.*

*Adicionalmente, como aplicação, apresenta-se um programa computacional denominado PROPAGAR 2000, construído em Object Pascal com a utilização do ambiente de desenvolvimento Delphi, cujo modelo é orientado para a simulação da propagação de vazões ao longo de uma Bacia Hidrográfica, visando o atendimento de Demandas Hídricas submetidas a decisões gerenciais e à regras de operação de reservatórios. O modelo foi validado e teve seu uso exemplificado através de uma aplicação à Bacia do Rio Paracatu-MG.*

**Palavras-chave: sistema de apoio à decisão, SAGBAH, PROPAGAR**

---

### INTRODUÇÃO

Na medida em que o Modelo de Objetos Básico, apresentado no artigo anterior (Viegas F<sup>o</sup> e Lanna, 2001), constituiu-se, principalmente, por uma estrutura conceitual metodológica de Modelagem Orientada a Objetos (MOO) aplicada a Sistemas de Recursos Hídricos baseados em Redes Hidrográficas, capaz de possibilitar o desenvolvimento de modelos especializados voltados para as áreas de Planejamento de Uso da Água, de Controle de Cheias e de Qualidade da Água, dentre outras, era necessário que fosse apresentada, também, uma primeira aplicação que ilustrasse sua adequação a esses propósitos. Esse, portanto, é o objeto do presente artigo.

O SAGBAH 2000 - Sistema de Apoio ao Gerenciamento de Bacias Hidrográficas - constitui um Sistema de Apoio à Decisão, aplicado ao Planejamento e à Gestão

dos Recursos Hídricos, formado por um conjunto de programas e modelos, originalmente escritos em FORTRAN e que, atualmente, estão sendo remodelados e convertidos para a plataforma Windows<sup>®</sup>, juntamente com outros novos, através do ambiente Borland Delphi<sup>®</sup> e da linguagem Object Pascal, através de uma ação conjunta entre o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, a Faculdade de Engenharia Agrícola e o Núcleo de Informática Aplicada do Instituto de Física e Matemática, ambos da UFPel (Viegas F<sup>o</sup> e Lanna, 1999).

O PROPAGAR é um dos aplicativos-núcleo do SAGBAH, sendo um modelo de uso consagrado na sua versão em FORTRAN (Lanna, 1997). Dessa forma, optou-se pela utilização desse modelo, como inspirador da concepção básica do desenvolvimento de um Modelo de Objetos Especializado e aplicado ao Planejamento e a Gestão de Uso da Água, inclusive como elemento de validação da MOO, como adequada ao desenvolvimento de modelos aplicados a Sistemas de Recursos Hídricos.

## O PROPAGAR MOO - MODELO ORIENTADO A OBJETOS APLICADO AO PLANEJAMENTO DE USO DA ÁGUA

### A Estrutura e a Dinâmica do PROPAGAR MOO -

#### Premissas Básicas do Domínio do Problema

O modelo PROPAGAR MOO busca simular a propagação de vazões ao longo de uma bacia hidrográfica, visando o atendimento de demandas hídricas sujeitas a decisões gerenciais e a operação de reservatórios quando existentes. Essa é, portanto, a idéia que fundamenta o *domínio do problema* sendo uma extensão do conceito que envolveu o Modelo Básico de Objetos visto no artigo anterior.

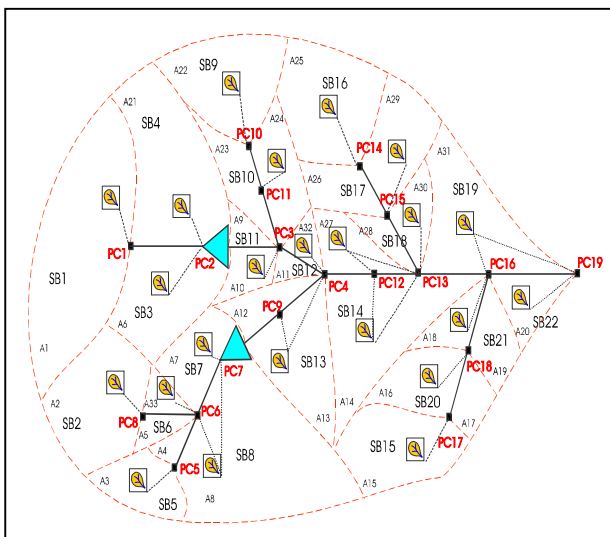


Figura 1 - Exemplo de Montagem de uma Rede Hidrográfica representativa de um SRH. (Viegas Fº, 1999)

A partir disso, pode-se resumir as principais características que norteiam a abstração do domínio do problema e que são as seguintes: (1) o modelo está alicerçado sobre uma estrutura de Rede Hidrográfica constituída por Pontos Característicos (PCs - Pontos de Passagem ou Reservatórios) - ligados entre si por Trechos de Água (Figura 1); (2) cada PC tem ligada a si uma ou mais Sub-bacias que são responsáveis pela transformação chuva-vazão que ocorre localmente; cada Sub-bacia pode estar ligada, por sua vez, a mais de um PC, desde que adjacentes; (3) existirão Demandas Hídricas na Rede as quais poderão estar ligadas a PCs (demandas localizadas) ou a Sub-bacias (demandas difusas); essas Demandas Hídricas deverão ser agrupadas em Classes de Demandas (aqui, no sentido de *categoria* e não no sentido utilizado na MOO); (4) o atendi-

mento às demandas hídricas, será feito em função da verificação de disponibilidade de água, através de balanço hídrico realizado em cada PC, por ocasião da propagação das vazões em cada intervalo de tempo de simulação, e, também, das decisões gerenciais que forem estabelecidas para a Rede como um todo e para cada PC e/ou Demanda em particular.

Dessa forma, a extensão do Modelo Básico de Objetos, é feita pelo acréscimo de elementos adicionais - classes, atributos e métodos - capazes de considerarem a problemática de compatibilização do atendimento de Demandas Hídricas em função da Disponibilidade de Água e de critérios gerenciais estabelecidos.

#### Fundamentação da Dinâmica do Modelo

A dinâmica global do processo de simulação, consiste em realizar-se a propagação de vazões de montante para jusante, através da bacia, ao longo do tempo e segundo a ordem hierárquica dos PCs, buscando atender as demandas existentes em face das disponibilidades hídricas igualmente existentes. A ordem hierárquica, conforme se viu no artigo anterior, é estabelecida de modo que aos PCs que não possuam outro à montante seja atribuída hierarquia 1 e, aos demais, um número hierárquico, igual ao do PC de maior hierarquia que lhe fique logo à montante, acrescido de uma unidade. Isso garantirá que nenhum PC tenha seu balanço hídrico realizado, dentro de um dado intervalo de tempo, sem que aqueles que lhe fiquem à montante já tenham o seu próprio executado. Dessa forma, em cada PC, é realizado, a cada intervalo de tempo, um balanço hídrico, considerando o afluxo de água oriundo dos PCs de montante e de suas próprias sub-bacias, bem como as demandas difusas (nas sub-bacias) e localizadas (no próprio PC) que ali devem ser supridas.

Quando o PC corresponder a um Ponto de Passagem, ou seja, a um nó no qual não existir reservatório a equação de propagação será dada por:

$$X(t) = Q(t) - D(t) + R[D(t)] \quad (1)$$

onde  $X(t)$  é a descarga defluente do PC;  $Q(t)$  é a contribuição afluenta total, formada pelas contribuições difusas das bacias laterais, nos pontos de Hierarquia 1, mais a contribuição concentrada dos PCs de montante, nos pontos de Hierarquia superior a 1;  $D(t)$  é representação da totalidade das demandas concentradas que devem ser supridas nesse PC e  $R[D(t)]$  é o retorno de água que possa lhe corresponder (Lanna, 1997; Viegas Fº, 2000).

Por outro lado, em PCs controlados por reservatórios, a equação de propagação será a equação clássica de balanço hídrico em reservatórios:

$$S(t+1) = S(t) + Q(t) - D(t) + R[D(t)] -$$

$$-E(S(t+1), S(t)) \quad (2)$$

onde, S(t) será o armazenamento no reservatório no início do intervalo (t), E[t] a evaporação que lhe corresponde e, S(t+1), o armazenamento ao final do mesmo.

Nessa situação, X(t) será uma descarga defluente, destinada ao atendimento dos diferentes tipos de demandas à jusante, controlável pela política operacional do reservatório que será estabelecida pelo usuário através de uma decisão gerencial.

Pode-se ver que a equação de propagação de um Ponto de Passagem é um caso particular daquela do trecho com reservatório, com S(t) = S(t+1) = 0. Nesse caso, já pode-se vislumbrar a *operação Balanço Hídrico* como um exemplo de *operação polimórfica*, ou seja, dependendo da *classe* onde for implementada ser um Ponto de Passagem ou um Reservatório, ela terá um comportamento distinto.

### Atendimento de Demandas

As Demandas Difusas, em quaisquer número, são totalizadas e atendidas no âmbito da própria sub-bacia à qual estão ligadas, de forma compulsória, e quando existir água para tal. Desse modo, as vazões afluentes ao PC, durante um determinado intervalo de tempo e oriundas do processo de transformação precipitação-vazão ocorrido na própria superfície das sub-bacias que o alimentam, já vão ser descontadas das Demandas Difusas que ali terão de ser supridas. A equação matemática que representa essa operação é a seguinte (Viegas Fº, 1999):

$$Q_{sb}(t) = \sum_{Sbs} cc_i [QD_i(t) - \sum_j DD_j(t)] \quad (3)$$

$$DD_j(t) = FC.UCA_j(t).UD_j(t).AREA_{sb}.ED.FI(t) \quad (4)$$

onde:

$Q_{sb}(t)$	Vazão afluente total, em m³/s, no intervalo de tempo t, oriunda de todas as Sub-bacias que contribuem a um determinado PC, já descontadas das Demandas Difusas;
$QD_i(t)$	Vazão, em m³/s, oriunda de processo difuso de transformação precipitação-vazão, na Sub-bacia i, durante o intervalo de tempo t;
$DD_j(t)$	Demanda Difusa j, em m³/s, a ser atendida na Sub-bacia i, durante o intervalo de tempo t;
$cc_i$	Coefficiente de Contribuição da Sub-bacia i para o PC considerado, com valor entre 0 e 1;
$UCA_j(t)$	Valor em Unidades de Consumo de Água da Demanda j no intervalo de tempo t (p.ex.: l/hab/dia, l/cab/dia/km²);

FC	Fator de Conversão para a Classe (categoria) de Demanda à qual a Demanda pertence. Transforma a UCA para m³/s.
UD(t)	Nº de Unidades da Demanda j que deverão ser atendidas no intervalo de tempo t no PC, na Sub-bacia.
AREA <sub>sb</sub>	Área da Sub-bacia.
ED	Escala de Desenvolvimento. Fator multiplicativo (utilizado pela versão DOS) aplicadosobre todos os valores de uma determinada demanda independentemente de intervalo de tempo.
FI(t)	Fator de Implantação. Fator de multiplicação que serve para estabelecer frações de implantação de uma determinada demanda ao longo do tempo. Isso pode dar-se de modo a levar em consideração uma evolução temporal de uma determinada demanda ou, então, uma variação periódica da mesma.

As Demandas Localizadas - ligadas diretamente aos PCs -, também em quaisquer número, deverão ser totalizadas, antes da realização da operação de balanço hídrico, em três tipos quanto à sua prioridade de atendimento: Demanda Primária, Demanda Secundária e Demanda Terciária. A formulação matemática que representa essa totalização é a seguinte:

$$DL_j(t) = FC.UCA_j(t).UD_j(t).ED.FI(t) \quad (5)$$

onde:

$DL_j(t)$	Demanda Localizada j, em m³/s, a ser atendida em um certo PC, durante o intervalo de tempo t.
$UCA_j(t)$	Valor em Unidades de Consumo de Água da Demanda j no intervalo de tempo t (p.ex.: l/hab/dia, l/s/ha);

As demais notações, mantém-se inalteradas, uma vez que a única diferença entre as expressões (4) e (5) corresponde à variável  $AREA_{sb}$ , inexistente na segunda expressão em virtude de que as Demandas Localizadas são pontuais e diretamente ligadas a um PC. Essa diferença fica caracterizada nas UCAs (Unidades de Consumo de Água) referentes às Demandas Difusas e às Demandas Localizadas.

As Demandas são agrupadas em Classes (categorias) de Demandas, conforme dito acima, de modo a facilitar o manuseio das mesmas. O usuário tem liberdade para criar aquelas que julgar convenientes, por exemplo, De-

manda Difusa de População Rural, Demanda Difusa de Pecuária, Demanda Localizada Urbana, Demanda Localizada de Irrigação por Aspersão e assim por diante. No caso das Demandas Localizadas, a prioridade fica estabelecida na própria Classe (categoria) de Demanda de modo a que todas as demandas de uma mesma Classe tenham a mesma prioridade. A razão é que, em cada PC, como já foi dito, antes da simulação as demandas são totalizadas por prioridade. Isso significa que, por ocasião do balanço hídrico, é examinada a possibilidade de atendimento das demandas totalizadas, igualmente por prioridade, ou seja, em cada PC, o nível de atendimento de uma determinada demanda específica será proporcional àquele correspondente à totalidade das demandas de mesma prioridade ali existentes.

### Decisões Gerenciais

As decisões gerenciais são introduzidas em duas fases. Na primeira fase, denominada de fase de planejamento, são estabelecidas as políticas operacionais para todos os PCs em função da água existente na bacia naquele momento. Nos cursos de água sem controle de reservatório a política a ser aplicada - e testada pelo modelo - refere-se ao nível de atendimento das demandas hídricas que são supridas no trecho. Isso permite o estabelecimento de racionamentos à montante para atender demandas prioritárias de jusante. Nos cursos de água com reservatório, a estratégia operacional envolve o estabelecimento do nível de atendimento à demanda e a descarga defluente do reservatório. Na fase seguinte, de operação tática é feita a verificação se as decisões estratégicas podem ser, de fato, implementadas (Lanna, 1997).

Com esse propósito, a estratégia operacional é introduzida através de um método denominado *Planeja* e a tática operacional através de outro método chamado *Opera*. O primeiro, *Planeja*, fica ligado ao *Projeto* e deve servir para a realização do planejamento geral de todos os PCs, no início de cada intervalo de tempo. O método *Opera*, que diz respeito à operação de cada reservatório, fica ligado à classe correspondente aos reservatórios. Esses métodos são implementados com alternativas padronizadas e, também, de forma a que o usuário possa vir modificá-los, para atender as necessidades de um problema específico, através da utilização de “scripts” escritos em PASCAL SCRIPT (Viegas F<sup>o</sup> e Lanna, 2003; Tröger, 2002; Viegas F<sup>o</sup> et al., 2001; Viegas F<sup>o</sup>, 2000).

Durante a execução da simulação, na fase tática, na medida em que for feito o balanço hídrico em cada PC, é, então, detectada a existência ou não de água suficiente para atender as demandas previstas na fase de planejamento. Quando a não existência de água suficiente for detectada, é utilizado outro método, denominado *Raciona* cujo propósito é o de promover a distribuição adequada de água.

### Geração de Energia

Supõem-se que cada PC possa ter uma usina hidroelétrica. Nesse caso, deve existir, também, um reservatório de suprimento (que eleva o nível de água e, eventualmente, realiza uma regularização de curto prazo - semanal, por exemplo) ou de acumulação (que regulariza as vazões no longo prazo). A geração de energia, em cada PC, é computada por um método denominado *CalculaEnergia*, que poderá ter suas funções escolhidas dentre um conjunto de funções pré-existentes ou, então, ser programado pelo usuário através de uma linguagem de “scripts” ou por intermédio de “plug-ins”.

### Intervalo de Simulação

Os intervalos de simulação adotados pelo usuário do modelo podem ser quinquêndiais, semanais, decêndiais, quinzenais ou mensais. O último intervalo de cada mês é ajustado para que seu fim coincida com o final do mês. Assim, o último intervalo quinquêndial poderá ter 3 dias (fevereiro em um ano não bissexto), 4 (fevereiro em um ano bissexto), 5 (para meses com 30 dias) ou 6 dias (para meses com 31 dias). Para os demais intervalos, ajustes semelhantes deverão ser feitos. O modelo supõe que as vazões afluentes ao PC mais a montante da bacia hidrográfica possam atingir o trecho mais à jusante no mesmo intervalo de tempo de simulação. Ou seja, não é incorporado o tempo de passagem da água. Isso poderá ser uma limitação à utilização do programa em bacias hidrográficas em que o tempo de passagem da água seja superior a um mês (Lanna, 1997; Viegas F<sup>o</sup>, 2000).

### Avaliação de Desempenho Operacional

Na medida em que o propósito do modelo é realizar a simulação da propagação de vazões, visando o atendimento de demandas previamente estabelecidas em função da disponibilidade de água, a avaliação do atendimento dessas demandas e das regras operacionais utilizadas para tal deve ser o objetivo maior da análise dos resultados.

Desse modo, as falhas de atendimento às demandas podem ser analisadas de várias formas, três das quais deverão ser as seguintes: na primeira, é verificado o número de intervalos de tempo onde determinada demanda não é suprida; na segunda, é estabelecido o número de intervalos de tempo em que há falha com suprimento inferior a um determinado valor de demanda considerado crítico, representando uma escassez relevante - por exemplo 50%; e, finalmente, a terceira forma registra as falhas por ano, ou seja, cada ano, considerado um ano com falha de suprimento. As falhas podem, também, ser analisadas estatisticamente através de funções programadas pelo usuário através de “scripts”.

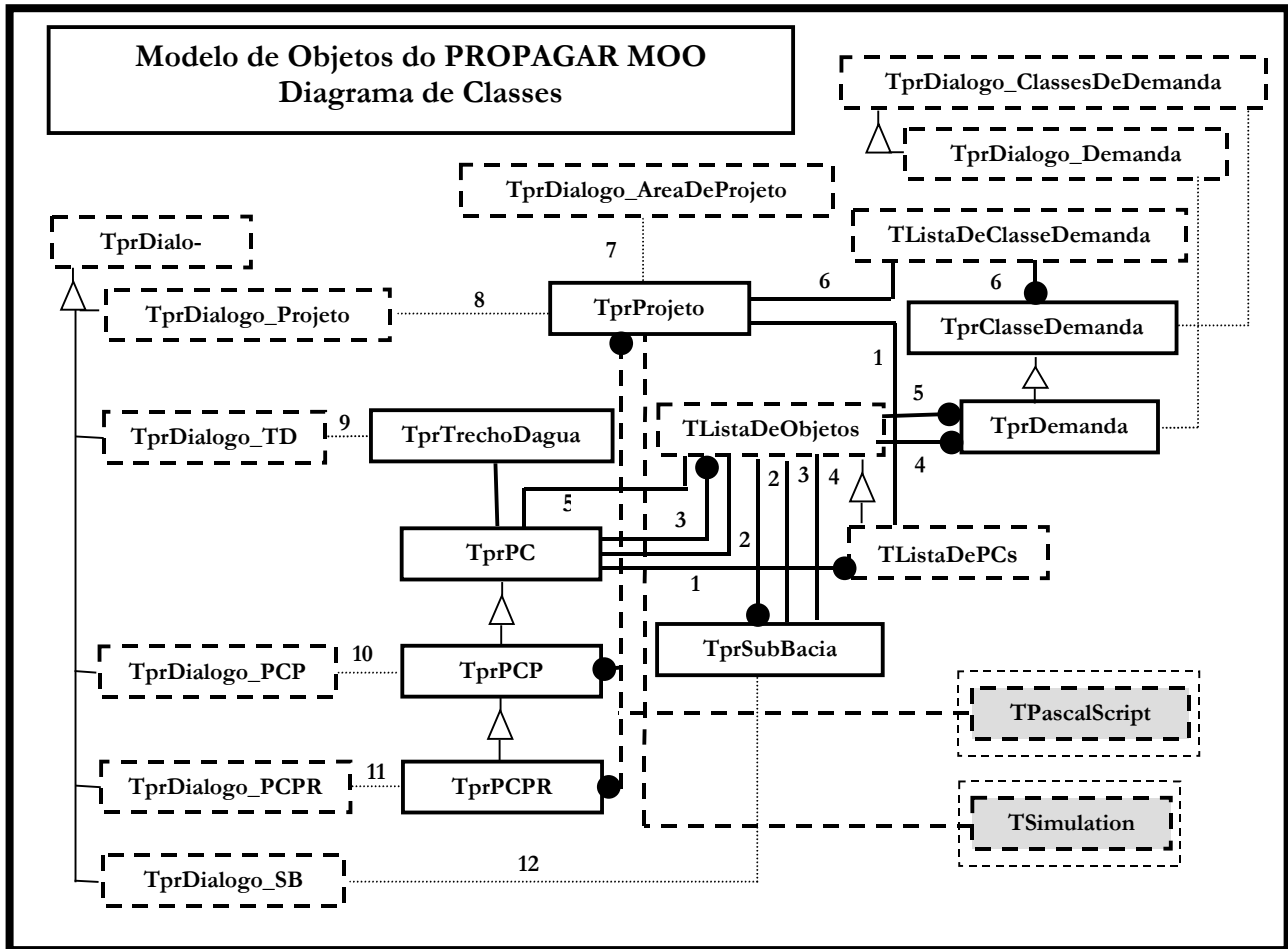


Figura 2 - Modelo de Objetos do PROPAGAR MOO – Diagrama de Classes (Viegas Fº, 2000).

Além disso, o desempenho operacional pode ser avaliado através de uma função-objetivo também passível de ser programada pelo usuário e associada a um método denominado *CalculaFuncaoObjetivo*. Qualquer função pode ser adotada, bastando o usuário programá-la. Por exemplo, ela pode ser relacionada a benefícios líquidos atualizados da produção agrícola irrigada, aos custos totais decorrentes de falhas de atendimento à demandas diversas, ou, ainda, a energia total gerada por usinas hidroelétricas.

## O MODELO DE OBJETOS DO PROPAGAR MOO

Estabelecida a abrangência da expansão do domínio do problema do Modelo Básico de Objetos, tratado no artigo anterior, para o Modelo de Objetos aplicado a problemas de planejamento do atendimento de Demandas

Hídricas, conforme visto acima, apresentar-se-á, a seguir, as características do mesmo.

A Figura 2, ilustra o Modelo de Objetos do PROPAGAR MOO. Conforme pode-se ver, as diferenças apresentadas em relação ao Modelo Básico de Objetos (Viegas Fº e Lanna, 2003), constituem-se pela inclusão da classe *TprPCP* e por uma descendente sua, *TprPCPR*, e, ainda, pela inclusão das classes *TprClasseDemanda* e *TprDemanda*, em termos de classes relacionadas com o domínio do problema. Adicionalmente foram também incluídas as classes auxiliares *TprDialogo\_ClassesDeDemanda*, *TprDialogo\_Demanda* e *TListaDeClasseDemanda*, essas do escopo do domínio da aplicação. Por outro lado, deixou de ser utilizada a classe *TprPCR* em função de razões que a mais adiante serão expostas.

Na Figura 2, os retângulos em linha cheia correspondem às classes relacionadas com o domínio do problema e aos retângulos com linha tracejada correspondem as classes associ-

adas ao *domínio da aplicação*. Optou-se, também, pela utilização de *traços cheios* para as associações que relacionassem classes do domínio do problema entre si, mesmo que através de classes referentes à listas de objetos; foi utilizado o *pontilhado* para as associações auxiliares que relacionassem classes de elementos do domínio do problema com classes de diálogo e, finalmente, foi usado o *tracejado* para as associações entre classes auxiliares *TPascalScript* (executora de “scripts”) e *TSimulation* (mecanismo de simulação) com *TprProjeto*. Essas últimas classes também apresentam uma notação diferente para o retângulo que as representa, correspondendo a um contorno tracejado com fundo hachurado.

Deve-se observar que um Projeto instanciado da classe *TprProjeto* é o grande centralizador da construção da Rede Hidrográfica e do que, em torno dela, foi feito. Essa centralização é realizada através de uma Lista de PCs instanciada, por sua vez, de *TListaDePCs*. Na figura, a associação 1, ligando a classe *TprProjeto* à classe *TprListaDePCs* e esta à classe *TprPC*, caracteriza isso. Pode-se ver que a associação entre *TprProjeto* e *TprListaDePCs* é do tipo *um-para-um*, caracterizando que, para cada Projeto instanciado, existe apenas uma lista de PCs a ele ligada. Por outro lado, a associação entre *TprPC* e *TprListaDePCs* é do tipo *um-para-muitos*, ficando o lado muitos do lado de *TprPC*, o que significa que a esta única lista podem estar associados muitos PCs.

Os demais elementos que compõe a Rede Hidrográfica estão associados ao Projeto através dos PCs. Assim sendo, para cada PC, existem três listas de objetos a ele ligadas: uma que contém referência aos objetos Sub-bacia (associação 2), outra que contém os objetos Demanda (associação 5) e outra que contém os objetos PCs que lhe ficam à montante (associação 6).

No caso das Sub-bacias existe uma relação de reciprocidade com os PCs. Estas têm, cada uma, uma lista que referencia os PCs para os quais elas contribuem (associação 3) – é o que permite viabilizar a associação *muitos-para-muitos* que relaciona ambos objetos, juntamente com a lista que está contida nos PCs. Além disso, as Sub-bacias contém uma lista de objetos que referencia as Demandas – no caso Difusas – que a elas se ligam (associação 4).

As Classes (categorias) de Demanda estão ligadas ao Projeto através de uma lista do tipo *TListaDeClasseDemanda* (associação 7).

As Classes de Diálogo – associações 8 a 15 – ligam os diálogos da aplicação com as classes do domínio do problema. As classes *TPascalScript* e *TSimulation* estão ligadas diretamente à classe *TprProjeto*.

A Figura 2 mostra, também, as *relações de descendência* (linhas com triângulos) entre as classes, as quais não devem ser confundidas com as relações de associação, embora estejam no mesmo diagrama. Através desta, aliada à representação pictórica da Figura 1, é possível compre-

der-se o modelo de uma forma global. A documentação completa da Biblioteca de Classes pode ser encontrada no Anexo 1 de Viegas Fº (2000).

A seguir, apresentar-se-á cada classe chamando-se atenção para os atributos e métodos que mereçam destaque especial.

### Classe TprProjeto

A classe *TprProjeto* foi uma das classes que sofreram alguns acréscimos de atributos e métodos relacionados com: a definição e o controle dos intervalos de simulação (quinquenal, semanal, decenal, quinzenal e mensal), *NivelDeFalha* (nível geral de falha crítica), utilização de séries anuais descontínuas, gerenciamento de arquivos de trabalho, valor da função objetivo calculada, lista de Classes (categoria) de Demandas, configuração do PRO-PAGAR DOS e, ainda outros, destinados ao controle da apresentação dos resultados da simulação através de gráficos e planilhas. O método *Planeja*, referido no item *Decisões Gerenciais*, pertence a esta classe e é responsável pela fase de planejamento estratégico a ser realizada no início de cada intervalo de tempo.

### Classes TprPC, TprPCP e TprPCPR

A classe *TprPC* teve-lhe acrescido o atributo Demanda, correspondente a uma lista de objetos (*TListaDeObjetos*) do tipo *TprDemanda*, bem como de um método para sua manipulação.

A classe *TprPCP* foi obtida por descendência direta de *TprPC* tendo-se a ela acrescidos os atributos e métodos necessários à manipulação das Demandas Hídricas, inclusive à apresentação de gráficos e relatório na forma de planilhas.

As Demandas Totais referem-se às demandas necessárias de serem atendidas em cada PC, as Demandas Planejadas são as que no início do intervalo de tempo são planejadas para atendimento - através do método *Planeja* - e as Demandas Atendidas são as que, de fato, forem supridas por ocasião da simulação.

A Classe *TprPCPR*, correspondente aos reservatórios, foi obtida através de herança de *TprPCP*. A razão disso ter sido feito em lugar de utilizar-se um descendente de *TprPCP*, desde o Modelo Básico de Objetos (Viegas Fº e Lanna, 2003), foi o fato de os reservatórios - como casos particulares de PCs - necessitarem ter, também, os atributos e métodos referentes às demandas hídricas, acima descritos. Na medida em que em Object Pascal não existe a figura da herança múltipla - onde se poderia descender *TprPCPR*, simultaneamente, de *TprPCP* e de *TprPCP* - a

solução mais simples e mais eficiente encontrada foi a utilizada.

### Classe TprSubBacia

Esta classe, da mesma forma que TprPCP, teve a si acrescido o atributo Demanda - no caso para atender às Demandas Difusas - correspondente a uma lista (TListaDeObjetos - ver Viegas Fº e Lanna, 2003) de objetos do tipo TprDemanda, bem como de métodos para sua manipulação.

### TprClasseDemanda e TprDemanda

A Classe TprClasseDemanda é a classe que encapsula os dados e métodos que servem para estabelecer as Classes (categorias) de Demandas, às quais serão, posteriormente à sua criação, ligadas as Demandas Hídricas. Tem seus principais atributos indicados na Tabela 1.

A Classe TprDemanda é descendente de TprClasseDemanda, tendo em vista, que a Classe (categoria) de Demanda serve, além de elemento classificador, como “container” para os dados iniciais de cada Demanda que for criada ligada a ela. Assim, quando uma Demanda é criada ela já é inicializada com os dados “padrões” que o usuário do programa colocou na Classe (categoria) com esse propósito - isso poupa tempo e simplifica o trabalho.

### A Classe TPascalScript

A necessidade de fornecer aos usuários de aplicativos construídos com a Biblioteca de Classes PROPAGAR MOO, como é o caso do PROPAGAR 2000, a possibilidade de programarem rotinas como a *Planeja*, a *Opera* e outras que se fizessem necessárias em tempo de execução, ou seja, com o aplicativo sendo executado, suscitou o desenvolvimento da linguagem PASCAL SCRIPT. Dessa forma, TPascalScript é a principal dentre um conjunto de classes que encapsulam as características de uma linguagem de “script” baseada no PASCAL. Para tanto, a classe encapsula o mecanismo de gerenciamento e execução de “scripts” escritos na linguagem que foi denominada de Pascal Script, através do interpretador que dela é instanciado. Para tanto, possui propriedades e métodos que possibilitam o armazenamento do código fonte, a análise (“scanning”), a compilação (transformação em p-code) e a execução dos “scripts” criados pelo usuário, bem como, o acesso a todas as interfaces das funções, procedimentos e classes contidos nas bibliotecas que lhe forem associadas (Viegas Fº e Lanna, 2003; Tröger, 2002; Viegas Fº et al., 2001; Viegas Fº, 2000).

## O PROPAGAR 2000 - O APLICATIVO

### A Interface e seus Aspectos Gerais

Conforme foi dito anteriormente, é fundamental que se distinga com clareza o aplicativo PROPAGAR 2000 da Biblioteca de Classes que lhe dá sustentação. Nos itens anteriores foram estabelecidas as bases que permitem representar uma Rede Hidrográfica na forma de um modelo computacional capaz, inclusive, de simular a propagação da água disponível ao longo de uma sucessão de intervalos temporais e, ainda, buscar, em cada um desses intervalos, atender demandas hídricas de acordo com um gerenciamento pré-estabelecido e objeto de estudo. Agora, buscar-se-á demonstrar como a essa Biblioteca de Classes pode ser ligada uma interface gráfica e ser transformada em um aplicativo como o PROPAGAR 2000.

A janela da Figura 3, corresponde à tela principal do PROPAGAR 2000 e à Classe TprDialogoPrincipal. Nela, destacam-se alguns elementos importantes no gerenciamento das diferentes operações proporcionadas pelo aplicativo: a *Barra de Menus*, a *Barra de Ferramentas Principal*, a *Área de Projeto*, a *Barra de Ferramentas Hidrográfica*, a *Caixa de Título, Descrição e Comentários*, o *Gerenciador de Projeto* e a *Barra de Avisos*.

A *Área de Projeto*, como já foi dito acima, pode ser vista como uma *prancheta* onde pode ser desenhada a *Rede Hidrográfica* que compõe o *Projeto* em estudo. Além disso, possibilita a *identificação do projeto* e fornece outras informações de cunho geral. Podem ser abertos tantos *Projetos* quanto se queira durante a execução do PROPAGAR, sendo que, cada um deles, terá a sua própria *Área de Projeto*. Isso possibilita o “salvamento” de vários cenários em estudo como projetos diferentes para que seus resultados sejam confrontados diretamente com ambos abertos.

A construção de uma Rede Hidrográfica, capaz de representar um esquema topológico de uma bacia hidrográfica a ser estudada, é feita de forma bastante simples, envolvendo o lançamento de PCs (denominados assim na interface os Pontos de Passagem), de Reservatórios (Pontos de Armazenamento), de Trechos de Água e de Sub-Bacias sobre a *Área de Projeto*. Isso é feito através da seleção desses elementos na *Barra de Ferramentas Hidrográfica* e, depois, no seu posicionamento no local desejado. Na Figura 3, sobre a *Área de Projeto*, é possível ver-se a Rede Hidrográfica representativa da Bacia do Rio Paracatu-MG com todos os elementos acima mencionados e que será utilizada, como se verá adiante, como exemplo de aplicação do PROPAGAR 2000. Nela estão representadas, também, as Demandas Hídricas que complementam a construção da Rede.

**Tabela 1 - Classe TprClasseDemanda**

Atributo	Descrição
Prioridade	Prioridade das demandas ligadas à Classe(categoria).
EscalaDeDesenvolvimento	Valor de EscalaDeDesenvolvimento
FatorDeConversao	Valor do Fator de Conversão.
FatorDeRetorno	Valor do Fator de Retorno.
NomeUnidadeConsumoDagua	Nome da unidade de consumo de água.
NomeUnidadeDeDemanda	Nome da unidade de demanda.
TabValoresUnitarios	Tabela de valores unitários de consumo de água.
TabUnidadesDeDemanda	Tabela de valores de unidades de demanda.
TabFatoresImplantacao	Tabela de valores dos Fatores de Implantação.

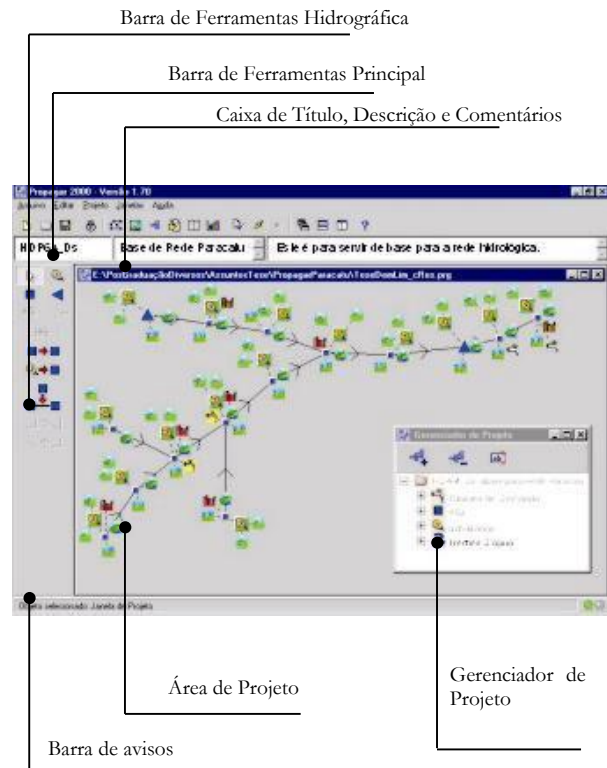
A inserção e edição de dados dos elementos constituintes da Rede Hidrográfica é feita simplesmente dando-se um “duplo-clique” com o ponteiro do mouse sobre aquele desejado. Isso faz com que uma Janela de Diálogo apropriada àquele elemento seja aberta. Nela, é feita, então, a inserção e/ou edição dos dados que lhes correspondem.

Explicações adicionais sobre cada elemento da interface e sobre a operação completa do aplicativo podem ser encontradas no Anexo 2 de Viegas F<sup>o</sup> (2000).

### A Dinâmica da Simulação - as rotinas Planeja, Opera e Auxiliares

A dinâmica da simulação fica totalmente oculta o usuário, entretanto, conforme foi visto, este pode interferir na mesma através de rotinas escritas em Pascal Script. Esses “scripts” constituem textos ASCII, salvos em arquivos de terminação .pscript ou .pas que são ligados à interface através de janelas de diálogo apropriadas e que, conseqüentemente, ligam o código aos diferentes objetos aos quais correspondem e às máquinas virtuais instanciadas a partir de uma classe TPascalScript que o executam. Além disso, o PROPAGAR 2000 tem incorporado a si um Editor PascalScript que facilita o trabalho do usuário disponibilizando, além dos comandos próprios da linguagem, diferentes funções relacionadas com atributos (numero de intervalos de simulação, intervalo atual, número de PCs, PC percorrido, volumes de reservatórios, demandas hídricas, etc.) e métodos (rotinas) de simulação, além de outras de cunho geral matemáticas, estatísticas, de planilha, gráficas, econômicas, dentre outras. Possui, ainda, um verifica-

dor de sintaxe que auxilia o usuário a corrigir esse tipo de erro.



**Figura 3 - Janela Principal do Aplicativo PROPAGAR 2000 (Viegas F<sup>o</sup>, 2000).**

## A FUNCIONALIDADE DO PROPAGAR MOO - UMA APLICAÇÃO-EXEMPLO

### Considerações Preliminares

A Bacia do Rio Paracatu, com uma área de 45.625 km<sup>2</sup>, distribuída entre os estados de Minas Gerais (92,3%) e Goiás (4,5%) e o Distrito Federal (3,2%) e integrante da Bacia do Rio São Francisco, foi escolhida como base para a construção da aplicação-exemplo, tão somente em virtude de ser essa, uma bacia hidrográfica com uma razoável quantidade de dados disponíveis, tanto no aspecto de disponibilidade hídrica . como, também, de demandas hídricas (<http://hidricos.mg.gov.br/in-mi.htm>), existindo inclusive diversos trabalhos já desenvolvidos na mesma (Pilar, 1998; Lanna, 1998). Não houve, portanto, uma maior preocupação com a fidedignidade dos resultados da aplicação, relativamente aos problemas reais específicos da bacia e sim com a validação do modelo aqui proposto.



**Demandas Hídricas**

Para efeito da aplicação aqui tratada, a bacia foi discretizada em 15 sub-bacias, cada uma correspondendo a um PC, conforme pode-se ver na Tabela 2. A tabela indica, também, a natureza e origem das demandas a serem atendidas em cada um.

**Tabela 2 - Pontos Característicos, Sub-bacias e Demanda Hídricas.**

PC	SUB-BACIA	DEMANDAS
PC 01	SB 01	Pop. Guarda Mor
PC 02	SB 02	Irrig. Asp.- áreas 6 e 7
PC 03	SB 03	Irrig. Asp. área 9
PC 04	SB 04	Irrig. Inund. - área A1, Pop.Urbana de Vazante e Lagamar
PC 05	SB 05	Pop. Urbana de João Pinheiro e Irrig. Asp. áreas 4a, 4b e 5
PC 06	SB 06	Irrig. Inund. - área A2, Pop.Urbana de Paracatu e Irrig. Asp. áreas 2a e 3
PC 07	SB 07	Expansão Entre Ribeiros e Irrig. Aspersão áreas 1a, 1b, 2b e 2c
PC 08	SB 08	Barragem do Queimado - geração de energia
PC 09	SB 09	Pop. Urbana de Unai
PC 10	SB 10	Irrigação Aspersão - áreas 8 e 10
PC 11	SB 11	Pop. Urbana de Brasilândia
PC 12	SB 12	Irrig. Asp áreas 11, 12 e 13
PC 13	SB 13	Barragem Paracatu - geração de energia
PC 14	SB 14	Irrig. Inund. - áreas A3 e A4
PC 15	SB 15	Irrig. Inund. - áreas A5 a A10, Pop. Urbana de Sta. Fé de Minas

(fonte: Lanna, 1998 apud Viegas F°, 2000)

As Tabelas 3 e 4 apresentam, respectivamente, as demandas unitárias, em l/s/ha, correspondentes a Irrigação e por Aspersão. As áreas irrigadas correspondentes aos projetos estudados encontram-se indicadas na Tabelas 5 e 6, respectivamente.

A Tabela 7 mostra as populações rurais e os rebanhos utilizados para o cálculo das Demandas Difusas, com consumos, respectivamente, 70 l/dia/hab e 50 l/dia/cabeça; indica, também, a demanda ecológica.

**Tabela 3 - Demandas unitárias de Irrigação por Inundação em l/s/ha; demandas por projeto em m³/s.**

Proj.	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
A1 e	0.347	1.693	0.100	2.280	0.733	0.773
A2						
A3 a	0.100	2.027	0.100	2.613	0.987	1.040
A10						

(fonte: Lanna, 1998 apud Viegas F°, 2000)

**Tabela 4 - Demandas unitárias de Irrigação por Aspersão em l/s/ha; demandas por projeto em m³/s.**

Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out
0.013	0.138	0.163	0.313	0.481	0.631	1.081	0.281

(fonte: Lanna, 1998 apud Viegas F°, 2000)

**Tabela 5 - Áreas relativas às Demandas de Irrigação por Inundação.**

PC	Projetos	Área proj (ha)
4	A1	1.285
6	A2	1.330
14	A3	335
14	A4	100
15	A5	635
15	A6	620
15	A7	350
15	A8	925
15	A9	290
15	A10	420

(fonte: Lanna, 1998 apud Viegas F°, 2000)

Finalmente, as Demandas urbanas para cada PC, em função da sua distribuição anual, constam da Tabela 8.

As demandas hídricas acima ensejaram a criação de sete Classes (categorias) de Demandas que são: Demanda Difusa Pecuária, Demanda Difusa População, Demanda Ecológica, Demanda Urbana, Demanda de Irrigação por Aspersão, Demanda de Irrigação por Inundação 1 e Demanda de Irrigação por Inundação 2. A partir dessas Classes (categorias) de Demandas foram, então, criadas em cada PC, conforme indica a Tabela 2, as demanda hídricas pertinentes a cada um.

**Reservatórios**

Foi considerada a possibilidade da implantação de dois reservatórios, um no PC-8, o Reservatório Queimado, e outro no PC-13, o Reservatório Paracatu, cujas curvas características deixaram de ser aqui apresentadas em virtude da exigüidade de espaço, podendo ser encontradas em Viegas F° (2000).

**Cenários-Exemplo**

A partir do que acima foi exposto, foram utilizados dois cenários considerados cenários-básicos, para a

aplicação: um sem a presença de reservatórios - como é, na verdade, a condição atual da bacia - e, outro, considerando a presença dos reservatórios acima mencionados.

**Tabela 6 - Áreas relativas às Demandas de Irrigação por Aspersão.**

PC	Proj.	Área atual	Área	Área Total	F.I.
		(ha)	Projetp (ha)	(ha)	
1	atual	316.0	-	316.0	0,00
2	atual	2.208.0	-	2.208.0	0,00
2	6	-	3.784.0	3.784.0	0,79
2	7	-	4.312.0	4.312.0	0,00
3	atual	392.2	-	392.2	0,00
3	9	-	2.176.0	2.176.0	0,46
4	atual	1.717.5	-	1.717.5	0,00
5	atual	1.278.0	-	1.278.0	0,00
5	4a	-	5.232.0	5.232.0	0,00
5	4b	-	3.248.0	3.248.0	0,46
5	5	-	3.968.0	3.968.0	0,00
6	atual	821.0	-	821.0	0,00
6	2a	-	11.536.0	11.536.0	0,00
6	3	-	6.016.0	6.016.0	0,50
7	atual	14.476.9	-	14.476.9	0,00
7	1a	-	7.008.0	7.008.0	0,00
7	1b	-	512.0	512.0	0,00
7	2b	-	6.344.0	6.344.0	0,00
7	2c	-	2.816.0	2.816.0	0,00
7	exp*	-	5.500.0	5.500.0	1,00
8	atual	8.153.0	-	8.153.0	0,00
9	atual	586.0	-	586.0	0,00
10	atual	1.345.0	-	1.345.0	0,00
10	8	-	4.768.0	4.768.0	1,00
10	10	-	2.312.0	2.312.0	1,00
11	atual	1.787.0	-	1.787.0	0,00
12	atual	17.0	-	17.0	0,00
12	11	-	5.820.0	5.820.0	1,00
12	12	-	3.790.0	3.790.0	1,00
12	13	-	2.350.0	2.350.0	1,00
13	atual	4.248.0	-	4.248.0	0,00
14	atual	31.0	-	31.0	0,00
15	atual	220.0	-	220.0	0,00
TOT.		37.596.6	81.492.0	119.088.6	

(fonte: Lanna, 1998 apud Viegas Fº, 2000)

No que diz respeito à consideração de Demandas Hídricas, no primeiro exemplo, a seguir caracterizado, todas elas foram levadas em conta, entretanto, nos demais, as Demandas de Irrigação por Aspersão foram reduzidas em sua área e compatibilizadas com o que foi apresentado como exemplo em Lanna (1998).

**Tabela 7 - População rural, rebanho e Vazão Ecológica.**

PC	Rebanho (ca-beças)	Pop. rural (hab.)	Vazão Ecológica (m³/s)
PC 01	24.936	2.222	1,39
PC 02	56.302	3.425	1,86
PC 03	88.413	3.831	1,07
PC 04	125.153	8.269	4,78
PC 05	82.073	7.974	2,72
PC 06	53.128	2.560	9,54
PC 07	255.590	13.659	13,99
PC 08	121.769	66.404	4,27
PC 09	94.604	7.272	4,92
PC 10	198.463	16.618	6,75
PC 11	40.876	3.612	21,45
PC 12	48.025	3.976	23,04
PC 13	157.785	13.052	30,14
PC 14	57.786	7.934	31,76
PC 15	24.586	4.928	33,09

(fonte: Lanna, 1998 apud Viegas Fº, 2000)

### Considerações sobre a Simulação

As simulações, cujos resultados serão analisados nos itens seguintes, tiveram como objetivo principal examinar a correção (ou não) do funcionamento do modelo, bem como, sua funcionalidade no uso das rotinas programáveis através de "scripts". Para tanto, foram examinados os seguintes exemplos de operação:

#### 1ª. **PROPAGAR MOO versus PROPAGAR DOS:**

Comparação entre os resultados obtidos utilizando os modelos de simulação PROPAGAR MOO e o PROPAGAR DOS (este último pode ser executado, opcionalmente, através da interface do PROPAGAR 2000) com o uso dos dois cenários-básicos e considerando todas Demandas Hídricas (Tabelas 6 e 7). Na medida em que o modelo em FORTRAN, que constitui o PROPAGAR DOS, já tem seu uso consagrado, tanto no ambiente acadêmico como, também, no ambiente profissional, este serviu como elemento de *validação do modelo de simulação encapsulado no PROPAGAR MOO.*

#### 2ª. **Cenário-básico com Reservatório, com Demandas Hídricas limitadas e com uso de rotinas construídas pelo Usuário:**

Este exemplo teve por objetivo demonstrar a capacidade de, através da utilização de "scripts", o usuário poder inter-

Tabela 8 – Demandas Urbanas nos PCS.

PC	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
'PC01'	0.028	0.027	0.026	0.026	0.025	0.025	0.027	0.029	0.027	0.025	0.024	0.025
'PC02'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
'PC03'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
'PC04'	0.146	0.157	0.149	0.155	0.153	0.153	0.155	0.167	0.171	0.164	0.141	0.144
'PC05'	0.128	0.125	0.123	0.124	0.120	0.123	0.123	0.129	0.131	0.128	0.121	0.123
'PC06'	0.293	0.308	0.302	0.291	0.299	0.293	0.299	0.291	0.288	0.261	0.282	0.285
'PC07'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
'PC08'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
'PC09'	0.197	0.207	0.203	0.195	0.201	0.197	0.201	0.195	0.193	0.176	0.189	0.191
'PC10'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
'PC11'	0.046	0.058	0.054	0.057	0.048	0.051	0.051	0.057	0.057	0.054	0.046	0.045
'PC12'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
'PC13'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
'PC14'	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
'PC15'	0.008	0.010	0.009	0.009	0.008	0.007	0.009	0.009	0.010	0.009	0.008	0.008

(fonte: Lanna, 1998 apud Viegas F<sup>o</sup>, 2000)

vir no modelo e testar os critérios gerenciais que deseje estudar. Nesse sentido serão utilizadas as rotinas Planeja, Opera e Rotina Geral do Usuário. Os resultados obtidos por ambos modelos - PROPAGAR MOO versus PROPAGAR DOS -, puderam ser examinados de diversas formas, utilizando os recursos disponibilizados através da interface do PROPAGAR. Desse modo, a apreciação dos mesmos teve dupla finalidade: a comparação dos resultados numéricos e a exemplificação do uso dos recursos da interface.

### Análise dos Resultados

A primeira análise correspondeu ao exame da totalidade das falhas (totais, críticas e anuais) de atendimento das Demandas Hídricas em todos os PCs da Rede Hidrográfica, que se apresentaram idênticas para ambos modelos. A Figura 4, ilustra as telas, na forma de planilhas, obtidas através da interface gráfica do PROPAGAR; nela, a planilha em primeiro plano está selecionada para exemplificar a possibilidade de cópia para a área de transferência do Windows e posterior colagem em uma planilha de uso geral (Excel, p.ex.). A Figura 5, por sua vez, ilustra na forma de saída gráfica, um destaque para as falhas ocorridas para Demandas Terciárias (Irrigação por Aspersão), no PC-1, para os anos de 1954-55. A curva em linha dupla sem preenchimento indica a Demanda Total necessária de ser atendida e a curva escura a Demanda Atendida e portanto falha. Esse gráfico é possível de ser construído para diferentes períodos e para todas as variáveis analisadas (vazões, volumes armazenados, demandas, etc.).

A mesma simulação e análise foi feita para o segundo cenário-básico, ou seja, considerando a presença nos PCS 8 e 13, respectivamente, dos reservatórios Quei-

mado e Paracatu e, nesse caso, considerando o uso de rotinas Planeja e Opera.

Estendendo-se a mesma análise a todos os PCs e intervalos de tempo, para ambos cenários-básicos, chegou-se às variações percentuais cujas estatísticas estão indicadas nas Tabelas 9 e 10. As variáveis indicadas são as que apresentaram algum tipo de variação. A Defluência dos PCs e a Demanda Terciária Atendida foram as que apresentaram maiores variações, embora, desprezíveis.

Dessa forma, portanto, pode-se concluir, então, que ambos modelos apresentaram resultados com diferenças desprezíveis o que, sob o ponto de vista prático, vem, então, validar o modelo encapsulado no PROPAGAR MOO.

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O propósito do presente trabalho foi apresentar um Modelo de Objetos Especializado aplicado ao Planejamento de Uso da Água em Bacias Hidrográficas, denominado PROPAGAR MOO e materializado através de uma Biblioteca de Classes desenvolvida a partir de uma especialização do Modelo Básico de Objetos abordado em Viegas F<sup>o</sup> e Lanna (2003).

O modelo encapsulado no mecanismo de simulação foi construído de modo a representar de forma sistêmica os diferentes processos envolvidos na propagação de vazões ao longo de uma bacia hidrográfica visando o atendimento de demandas hídricas submetidas a decisões gerenciais e à regras de operação de reservatórios tomando por base o modelo originalmente desenvolvido em FORTRAN. Os testes realizados com o modelo e biblioteca, através da construção de um aplicativo, o PROPAGAR 2000, a simulação de exemplos comparados

com o modelo desenvolvido em FORTRAN, mostrou que a diferença de resultados entre ambos é desprezível.

**Tabela 9 - Estatísticas da variação percentual entre variáveis considerando todos os PCs e intervalos de tempo - simulação sem reservatórios.**

	Deflu	DPA	DSA	DTA	D.ATE
MaxMáximos	0,074	0,006	0,000	0,044	0,018
MedMáximos	0,050	0,000	0,000	0,024	0,005
MedMínimos	-0,045	-0,001	0,000	-0,023	-0,006
MinMínimos	-0,053	-0,019	0,000	-0,034	-0,020
MedMédias	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,000
MedDesvPad	0,014	0,000	0,000	0,011	0,002

Dessa forma, entende-se que a aplicabilidade do modelo PROPAGAR MOO e da Biblioteca de Classes desenvolvida a partir do mesmo foi validada.

Além disso, a possibilidade de programação das rotinas Planeja e Opera, através do uso da linguagem PASCAL SCRIPT, o uso de uma interface gráfica para a construção da Rede Hidrográfica e entrada de dados, aliada à possibilidade de saída e edição de dados em formato texto, de planilha eletrônica e gráfica, passíveis de serem transportados para outros aplicativos - inclusive através da "área de transferência" (copiar/colar) do Windows -, veio conferir uma maior flexibilidade e potencialidade no uso do modelo.

Finalmente, tudo isso conduz ao desafio de, a partir do Modelo Básico de Objetos, do PROPAGAR MOO e das bibliotecas de classes existentes, desenvolver outros que, aproveitando a estrutura da rede, já pronta, possam vir constituir ferramentas de análise nos diferentes campos de estudo dos Sistemas de Recursos Hídricos, tais como os de Planejamentos de Uso da Água, de Controle de Cheias e de Qualidade da Água.

Os autores sentir-se-ão honrados em poderem compartilhar experiências e discutir com os pesquisadores interessados os assuntos aqui tratados.

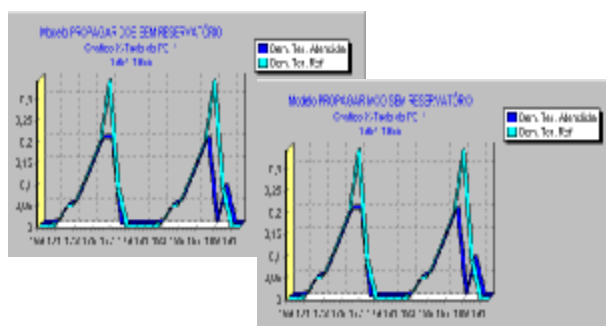
PCs	Falhas Primárias			Falhas Secundárias			Falhas Terciárias		
	INTe	CRITe	ΔINTe	INTe	CRITe	ΔINTe	INTe	CRITe	ΔINTe
PC_3	1	0	1	0	0	0	4	2	2
PC_1	3	0	3	3	3	6	4	5	1
PC_6	0	0	0	0	0	0	5	1	4
PC_10	0	0	0	0	0	0	11	2	9
PC_2	0	0	0	0	0	0	6	1	5
PC_9	0	0	0	0	0	0	5	1	4
PC_7	0	0	0	0	0	0	6	1	5
PC_11	0	0	0	0	0	0	11	2	9
PC_12	3	0	3	3	3	6	4	5	1
PC_5	0	0	0	0	0	0	5	1	4
PC_4	0	0	0	0	0	0	1	0	1
PC_10	0	0	0	0	0	0	3	2	1
PC_8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC_7	0	0	0	0	0	0	7	2	5
PC_11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC_12	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Paracatu	0	0	0	0	0	0	1	0	1

**Figura 4 - - Exemplificação de saída de Falhas Totais na forma de planilha.**

**Tabela 10 - Estatísticas da variação percentual entre variáveis considerando todos os PCs e intervalos de tempo - simulação com reservatórios.**

	Deflu	DPA	DSA	DTA	D.ATE
MaxMáximos	0,053	0,000	0,000	0,030	0,005
MedMáximos	0,049	0,000	0,000	0,019	0,002
MedMínimos	-0,043	0,000	0,000	-0,015	-0,002
MinMínimos	-0,045	0,000	0,000	-0,019	-0,006
MedMédias	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,000
MedDesvPad	0,014	0,000	0,000	0,009	0,001

Na tabelas acima as colunas tem os seguintes significados: Deflu = defluência do PC; DPA = Demanda Primária Atendida; DSA = Demanda Secundária Atendida; DPA = Demanda Terciária Atendida; D.ATE = Demanda Atendida Total



**Figura 5 - Demanda Terciária de Referência(Total) vs. Demanda Terciária Atendida - PC\_1 (1954-55).**

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa pelo apoio recebido.

O primeiro autor agradece à CAPES pela bolsa concedida que possibilitou a realização de seu Curso de Doutorado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH-UFRGS e a efetivação da pesquisa que resultou neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

LANNA, A. E. (1998). *MAG 5 - Modelo De Otimização Econômica da Infra-Estrutura Hidráulica - Manual do Usuário*. IPH-UFRGS. 26p (Comunicação Pessoal).

LANNA, A. E., 1997. *SAGBAH - Sistema de Apoio ao Gerenciamento de Bacias Hidrográficas - versão 97*. IPH-PILAR, UFRGS, 1998p.

\_\_\_\_\_. *Otimização de um Sistema de Recursos Hídricos sem Regularização. Caso Analisado: Bacia do Rio Paracatu*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto

Alegre. 181p.

- TRÖGER, F. H. (2002). *Instrumentalização do PROPAGAR MOO com Ferramentas de Planejamento do Uso da Água e de Análise da Simulação através da utilização da Linguagem PASCAL SCRIPT*. Porto Alegre: UFRGS. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH-UFRGS. 131p
- VIEGAS Fº, J. S., (2000). *O Paradigma da Modelagem Orientada a Objetos Aplicada a Sistemas de Apoio à Decisão em Sistemas de Recursos Hídricos*. Porto Alegre: UFRGS. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH-UFRGS. 547p.
- VIEGAS Fº, J. S., 1999. *Modelagem Orientada a Objetos Aplicada a Sistemas de Recursos Hídricos*. Trabalho apresentado como parte dos requisitos para Exame de Qualificação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. IPH-UFRGS. Porto Alegre. 93p.
- VIEGAS Fº, J. S., LANNA, A. E. (1999). *SAGBAH 2000 - Manual Básico*. Porto Alegre: IPH-UFRGS e FEA/IFM-UFPeL. 17p.
- VIEGAS Fº, J. S., LANNA, A. E. (2003). O Paradigma da Modelagem Orientada a Objetos Aplicado a Sistemas de Recursos Hídricos (I) – Modelo Básico de Objetos para uma Rede Hidrológica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. (nesta edição).
- VIEGAS Fº, J. S.; LANNA, A. E.; CONCEIÇÃO, A. R. (2001). A Linguagem PASCAL SCRIPT e sua aplicação ao PROPAGAR MOO. In: *XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. ABRH. Aracajú-SE. CD e p.114.

*Key-words: decision support systems, SAGBAH, PROPAGAR.*

***The Objects-Oriented Modeling Paradigm Applied to Water Resources Systems (II)***  
***Model of Objects Applied to Water Resource use Planning Propagar OOM***

***ABSTRACT***

*Object-Oriented Modeling (OOM) is a modeling methodology that can produce conceptual and practical advantages in the development of models applied to Water Resource Systems and, more specifically in this context, to Decision Support Systems.*

*The previous article presented the basic fundamentals of OOM, a Basic Object-Oriented model and a Basic Class Library. All of them were developed on Water Resource Systems which were based on a Hydrographic Network.*

*Following the first article, this one introduces a Specialized Object-Oriented Model applied to Water Use Planning in Water Basins – named PROPAGAR MOO, which was conceived through a Specialized Class Library. This library has the purpose of developing models which have such aims.*