

A MODELAGEM ORIENTADA A OBJETOS APLICADA A SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

João Soares Viegas Filho¹, Antonio Eduardo Leão Lanna² e Amauri de Almeida Machado³.

Resumo - O presente trabalho tem por objetivo apresentar a Modelagem Orientada a Objetos (MOO) como uma ferramenta auxiliar de grande valia na concepção de Sistemas de Apoio a Decisão na Gestão de Recursos Hídricos. A concepção básica de uma nova versão do programa de simulação de bacia hidrográfica PROPAGAR, integrante do SAGBAH - Sistema de Apoio ao Gerenciamento de Bacias Hidrográficas - é trazida como exemplo de aplicação da MOO.

Abstract - This paper presents the Object Oriented (OO) approach as a valuable tool to develop Water Management Decision Support System. The basic conception of a new version of a river basin simulation model named PROPAGAR, part of the SAGBAH - River Basin Management Support System, is presented as an example of the OO approach.

Palavras-Chave: Modelagem Orientada a Objetos, Sistemas de Apoio à Decisão, PROPAGAR, SAGBAH

¹ Engenheiro Civil, Professor Ajudante da Faculdade de Engenharia Agrícola - UFPel. Doutorando do IPH-UFRGS.

Av. República, 440 - Areal - Pelotas - RS : CEP 96077-230 : fone (0532) 28-3060. e-mail: jviegas@conesul.com.br

² Engenheiro Civil, Ph.D, Professor Titular do Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS. Caixa Postal 15029. CEP 91501-970. Porto Alegre, RS.

³ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor Adjunto, Instituto de Física e Matemática - UFPel. Rua Fernando Ferrari, 248 apt 304A : Areal : Pelotas : RS : CEP 96080-090.

INTRODUÇÃO.

Dentro do moderno conceito de Gestão das Águas, fundamentado na concepção de Desenvolvimento Sustentável - onde desenvolvimento econômico, equidade social e sustentabilidade ambiental devem caminhar lado a lado - a abrangência e a complexidade dos assuntos que envolvem o planejamento do uso, controle e proteção dos recursos hídricos assumem proporções de tal magnitude que se torna imprescindível, para a sua efetivação, a ação conjunta de equipes multidisciplinares e mesmo transdisciplinares.

Assim sendo, a tomada de decisão nesse contexto, envolvendo múltiplos agentes e múltiplas finalidades relativas ao uso das águas - muitas vezes conflitantes - é um processo bastante complexo, onde necessitam ser ponderados aspectos políticos, sociais, econômico-financeiros, ambientais e de engenharia, dentre outros, que possam conduzir às soluções que melhor compatibilizem as premissas acima mencionadas. Para tanto, é importante que seus integrantes sejam munidos de instrumentos que lhes facilite as tomadas de decisão, nos seus aspectos mais abrangentes, em diferentes instâncias e formas de abordagem.

Os Sistemas de Apoio à Decisão (SADs) constituem-se em ferramentas computacionais que permitem aos planejadores e decisores, quando defrontados com problemas de difícil estruturação em face da complexidade envolvida, processarem o seu estudo à partir da construção interativa e adaptativa de soluções através da proposição de diferentes cenários possíveis de ocorrerem e da avaliação da sua evolução face às decisões tomadas. Para tanto os SADs, dentro de um paradigma que vem sendo construído ao longo dos últimos trinta anos, devem ser organizados segundo três componentes que lhes são básicos: *dados*, *modelos* e *interface*. Os *dados* constituem-se na matéria prima de alimentação de qualquer análise e portanto os SADs tem de possuir ferramentas internas que permitam a sua recepção, armazenamento, classificação, pré-processamento para exame de representatividade, consistência e detecção de erros, além de garantir sua integridade. Os *modelos* são os instrumentos capazes que simular o comportamento de sistemas reais, no todo ou em parte, seja na forma prescritiva - quando de otimização - ou na forma descritiva - quando de simulação propriamente dita - permitindo obter-se à partir dos dados as diferentes respostas objeto da sua transformação e condizentes com o que se está analisando. A *interface*, por sua vez, constitui-se no instrumento capaz de disponibilizar ao usuário diferentes ferramentas que lhe possibilite dialogar com os dados e com os modelos, fazer com estes interajam entre si e, ainda, permitir o exame dos resultados obtidos para verificar o quão estes satisfazem ou não às necessidades do estudo proposto.

A Modelagem Orientada a Objetos e as técnicas de programação dela decorrentes têm-se mostrado bastante eficientes na modelagem de problemas do mundo real, permitindo um tratamento integrado e global de todas as características das coisas e dos fenômenos envolvidos, reunindo atributos (dados) e comportamentos (processos) em um só contexto e, ao mesmo tempo, fazendo uma adequada separação da análise do problema em si (domínio do problema) e da sua implementação computacional. Além disso, com o surgimento e a popularização dos computadores pessoais, de novos sistemas operacionais

com interfaces gráficas e, ainda, de ambientes de desenvolvimento visuais de aplicativos altamente interativos, cada vez mais, é necessário que sejam utilizadas ferramentas que permitam realizar a modelagem de problemas e a sua implementação computacional para essas plataformas de forma fácil, amigável e interativa.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar a Modelagem Orientada a Objetos como uma ferramenta auxiliar de grande valia na concepção de modelos que representem os Sistemas de Recursos Hídricos e na sua implementação através de programas de computadores que possam vir a integrar Sistemas de Apoio à Decisão plenamente compatibilizados com as premissas acima mencionadas.

FUNDAMENTOS E MECANISMOS DA MODELAGEM ORIENTADA A OBJETOS.

A Modelagem Orientada a Objetos (MOO) surgiu como uma alternativa à abordagem procedural no desenvolvimento de sistemas computacionais. Não é um conceito novo, datando as primeiras incursões feitas nessa direção do início dos anos 60, na Noruega, em conexão com uma linguagem denominada Simula-67. Desde lá, através do tempo, com cada vez maior intensidade esse novo paradigma foi se estabelecendo como uma das melhores formas para se lidar com o crescente incremento da complexidade envolvendo o binômio “hardware-software” (Winblad et al., 1993).

Na verdade, é um processo conceitual que independe de uma linguagem de programação na suas etapas iniciais (análise e projeto). É, fundamentalmente, uma maneira de pensar e modelar o mundo real e não somente uma técnica de programação (Rumbaugh et al., 1997).

A Modelagem Orientada a Objetos como uma alternativa adequada à maneira de pensar do Engenheiro.

Diferentemente da modelagem procedural clássica na qual o foco das atenções é dirigido para os processos com o desenvolvimento de algoritmos e fluxogramas que os representem, na MOO, o foco são os objetos, que representam as entidades do mundo real que se deseja modelar com seus atributos (dados) e comportamentos (procedimentos) e seu inter-relacionamento (associações). No caso, por exemplo, de um Modelo de Transformação Chuva-Vazão, os procedimentos tradicionais de modelagem imediatamente conduziram à abstração dos diferentes processos envolvidos: perdas iniciais, perdas por evapotranspiração, separação do escoamento superficial, infiltração, escoamento sub-superficial e, assim por diante. Para tanto, seriam desenvolvidos os algoritmos parciais, representativos dos processos matemáticos envolvidos e, a seguir, encadeados entre si para constituírem o modelo global. Os dados, representados pelas diferentes variáveis e parâmetros do problema, integrariam uma estrutura de dados organizada para abastecer o modelo com as informações necessárias. Na abordagem orientada a objetos a abstração seria feita em função dos “objetos” do mundo real envolvidos: atmosfera, camada superficial, camada sub-superficial, aquífero, etc. Cada um desses objetos encapsularia os atributos (dados) e os comportamentos (procedimentos) que lhe fossem pertinentes. Exemplificando: dentre outros, a atmosfera

encapsularia os dados *quantidade de precipitação* e *evapotranspiração potencial*, na forma de atributos, e os procedimentos *chove* e *absorve água por evaporação*; a camada superficial, o atributo *capacidade do reservatório superficial* e os procedimentos *armazena água* e *escoa água*; a camada sub-superficial, o atributo *capacidade do reservatório sub-superficial* e os procedimentos *armazena água* e *escoa água* e assim por diante. Além disso, a interação entre objetos como camada superficial e camada sub-superficial constituiria uma *associação* através da qual o comportamento *infiltra* representaria a infiltração de água entre as duas camadas.

Dessa forma, na MOO, o modelador coloca integralmente sua atenção no mundo real que ele pretende simular e o vai modelando à partir de um *modelo de objetos* que representa aquelas características que precisam ser abstraídas. Observe-se que essa capacidade de representação de sistemas reais de alta complexidade foi o motivo que originou esse paradigma (orientação a objetos) destinado inicialmente às linguagens de simulação, como o Simula-67.

Essa metodologia nasceu da observação de três processos de organização mental utilizados pelo ser humano para entender o mundo em que vive (Coad e Yourdon, 1992):

- Diferenciação: condição de distinguir objetos entre si, por intermédio de seus atributos e capacidades de reagirem diferenciadamente a estímulos externos.
- Distinção entre Todo e Parte: condição de perceber um objeto como constituído de partes componentes que interligadas formam um todo.
- Percepção de Classes distintas: condição de reunir objetos com características semelhantes em classes.

Essa é, exatamente, a forma como cada um de nós percebe o mundo: constituído por um aglomerado de objetos - seres e coisas - com características próprias e com diferentes comportamentos os quais se manifestam em função de estímulos internos ou externos recebidos. O aprimoramento de mecanismos que permitem sistematizar e otimizar a utilização dos processos mentais acima mencionados é o que nos faz, cada vez mais, ter uma melhor compreensão e uma melhor interação com esse mundo.

Assim sendo, como se pode ver, a MOO vem a ser uma forma bastante natural de se pensar o mundo real, bem como de se proceder a análise, projeto e construção de modelos implementados em computador que representem suas principais características (atributos e comportamentos). Isso vem a ser de singular importância para a modelagem das atividades ligadas a problemas de engenharia - e como tal, de Sistemas de Recursos Hídricos -, tendo em vista a maneira concreta como os engenheiros buscam elaborar mentalmente os sistemas objeto de estudo.

Mecanismos básicos da Modelagem Orientada a Objetos.

A Modelagem Orientada a Objetos fundamenta-se em um conjunto de mecanismos que lhe dão a forma e a potencialidade que têm. São eles:

Objetos. Um objeto pode ser definido como algo com limites nítidos e significado em relação ao problema que se está estudando ou ao universo que se está buscando modelar (Rumbaugh et al., 1997). Um objeto assim definido possui *características*

próprias substanciadas através de *atributos* – que configuram o *estado* em que o objeto se encontra em um determinado momento – e *comportamentos* – que indicam a forma como o objeto reage a estímulos internos (alguma mudança de estado) ou a estímulos externos. São exemplos de objetos na área de Recursos Hídricos, os Cursos D'Água e os Reservatórios – como objetos com existência física definida na estrutura topológica de uma bacia hidrográfica – e as Demandas por Água – como objetos não-físicos, no sentido acima mencionado, caracterizados por necessidade de água em um determinado local e momento.

Mensagens, Operações e Métodos. As *mensagens* são o meio de comunicação entre objetos, constituindo-se por uma solicitação para que um objeto se comporte de uma determinada maneira. Assim, por exemplo, um objeto Reservatório pode receber uma mensagem, *verter água*, caso o nível de armazenamento do reservatório atinja o seu valor máximo, ou, ainda, esse mesmo objeto pode receber a mensagem, *racionar água*, caso, inversamente, um determinado nível crítico inferior seja atingido. Na medida em que um objeto receba uma mensagem que induza um determinado comportamento, uma *operação* com esse propósito é realizada. Essa *operação* corresponde a um processo representativo de um comportamento do sistema real modelado e à codificação de um *procedimento* (“procedures”) ou *função* que represente aquele processo. Esses procedimentos ou funções recebem, no âmbito da MOO, a denominação de *métodos*.

Classes. Adicionalmente aos anteriores, o conceito de *classe* constitui-se por um dos mais importantes mecanismos da MOO sendo uma decorrência do terceiro processo de organização mental humana, conforme já abordado, ou seja, o da capacidade humana de *percepção de classes distintas*. Uma *classe* de objetos descreve um grupo de objetos com propriedades semelhantes (atributos), o mesmo comportamento (operações), os mesmos relacionamentos com outros objetos e a mesma semântica (Rumbaugh et al., 1997). Uma *classe* consiste de métodos e dados que resumem as características comuns de um conjunto de objetos. A possibilidade em abstrair descrições de métodos e dados comuns a um conjunto de objetos e armazená-los em uma classe é um dos principais pontos da orientação a objetos. Definir classes, além do acima exposto, significa ter codificação reutilizável em um depósito comum ao invés de rescrevê-la várias vezes. Uma classe pode, ainda, resumir elementos comuns para um conjunto de *subclasses*. (Winblad et al., 1993). Os *objetos* são, na verdade, *instâncias de classes*, existindo somente durante a execução de um programa. As *classes* são as “formas” que dizem como eles devem ser – quais atributos devem ter – e que guardam os códigos dos métodos que podem ser por eles acessados. No caso do reservatório já mencionado como exemplo, a classe contém os atributos comuns a todos os tipos de objetos Reservatório possíveis de serem instanciados durante a execução de um programa que os utilize tais como volume, relação cota-volume, relação cota-área, tipo de vertedor, dentre outros. Para cada reservatório instanciado será reservada área de memória para armazenar essas informações. Por outro lado, todos os reservatórios pertencentes a essa classe utilizarão, por exemplo, um método com uma determinada regra operacional de descarga. Nesse caso, a cada vez que um dos reservatórios tiver de ser descarregado, o código computacional referente a essa operação será aquele armazenado na classe, ou seja, todos

os reservatórios acessarão a mesma fonte comum o que não só significa economia de recursos como também minimiza a possibilidade de erros e facilita a manutenção.

Encapsulamento (ocultação de informações) é o termo formal que consiste na separação dos aspectos externos de um objeto, acessíveis por outros objetos, dos detalhes do seu funcionamento interno que ficam ocultos dos demais objetos que não se encontrem na sua árvore de descendência. O *encapsulamento* assegura que o acesso aos *dados* de um determinado objeto somente possa ser feito através de *métodos* do próprio objeto, denominados *métodos públicos* ou, ainda, através de *atributos públicos*. Assim, nenhuma outra parte de um programa orientado a objetos deve acessar diretamente os dados de um outro objeto (Winblad et al., 1993; Rumbaugh et al., 1997; Coad e Yourdon, 1992). Assim, voltando ao exemplo do reservatório, o acionamento de uma comporta levando-a a um segundo estágio, em função da verificação do *atributo público nível crítico* ter alcançado ou ultrapassado um determinado valor, não pode ser feito senão através de um *método público* denominado, por exemplo, *AvancaEstagioComporta*. O mesmo se daria, no caso da alteração de uma regra de operação do reservatório, por escassez de água, após este ter atingido um certo nível crítico previsto. Nesse caso, um método do tipo *Raciona* poderia ser utilizado. A grande vantagem da utilização do encapsulamento é o estabelecimento de uma maior independência entre a interface de comunicação externa de um objeto com a implementação interna do seu código. Dessa forma, uma modificação no código interno do método não afetará a forma como ele fornecerá o resultado da operação realizada – ou seja, do serviço prestado – para outros objetos. Nos exemplos acima, uma modificação no tipo de comporta, que conduziria a uma nova equação para o cálculo da vazão vertida, no primeiro caso, ou, então, à modificação do conjunto de regras de operação utilizadas, no segundo, não modificaria o tipo de resultado entregue através da interface, que continuaria a se constituir por vazões a serem vertidas ou vazões destinadas ao atendimento de demandas.

Hereditariedade é o mecanismo de compartilhamento automático de métodos e dados entre classes, subclasses e objetos (Winblad et al., 1993). A *hereditariedade* permite que sejam programadas novas *classes* programando apenas as diferenças entre elas e a *classe-pai*. Na medida em que é criada uma classe descendente ela contém todos os atributos e métodos da ancestral. É possível, então, que atributos sejam acrescidos e que métodos sejam alterados parcialmente ou sobrescritos totalmente.

Polimorfismo. Outro conceito-chave na MOO, tornado possível pela hereditariedade, é o de *polimorfismo* que significa que uma mesma mensagem recebida por objetos diferentes resulte em comportamentos distintos. Com o *polimorfismo* um objeto pode enviar uma mensagem genérica a outro objeto e deixar os detalhes de implementação para o objeto receptor (Winblad et al., 1993). Assim, a mesma operação pode ser aplicada a classes distintas e obter comportamentos igualmente distintos, um para cada descendente: nesse caso, tal operação é dita *polimórfica*. O método *Raciona*, já utilizado acima como exemplo, terá natureza polimórfica se aplicado a um Reservatório ou a um Ponto de Passagem (ponto em uma rede hidrológica que não armazena água),

uma vez que, a forma de se estabelecer tal racionamento, terá implementações necessariamente distintas em cada caso.

A APLICAÇÃO DA MODELAGEM ORIENTADA A OBJETOS A SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS.

Sistemas de Recursos Hídricos e sua configuração.

Um Sistema de Recursos Hídricos tem sua existência caracterizada pela necessidade de compatibilizar a disponibilidade espacial e temporal das águas com o padrão, igualmente espacial e temporal, das demandas existentes – sob o ponto de vista quantitativo e qualitativo –, conforme ilustra a Figura 1. Nela, os dois extremos, relativos às disponibilidades e às demandas são compatibilizados entre si por um conjunto de Instrumentos de Planejamento e de Gestão – tradutores de políticas e planos de desenvolvimento físico, sócio-econômico e ambiental de uma bacia, região ou, mesmo, país – e por um sub-sistema denominado Sistema de Compatibilização – que integra as estruturas físicas necessárias e as regras operacionais que lhe são pertinentes (Viegas Fº, 1998a).

Sempre que o padrão espacial de disponibilidade de água não estiver adequado ao padrão espacial das demandas dos centros de consumo a solução é buscar água nos locais onde ela estiver disponível, seja na superfície ou no subsolo. Quando o problema for a descontinuidade temporal da oferta hídrica, a solução estará em armazenar água durante os períodos úmidos para aproveitamento durante os períodos secos. De forma oposta, quando for o caso da existência de excesso hídrico, por ocasião das cheias, serão necessárias medidas destinadas à drenagem, à contenção ou ao amortecimento da ação das águas. Todas essas intervenções são efetivadas à partir de medidas estruturais e não-estruturais que podem ser objeto de análise através Sistemas de Apoio à Decisão construídos com essa finalidade (Lanna, 1997a; Lanna, 1997b).

A Figura 2, de uma forma simplificada, exemplifica a distribuição espacial de um Sistema de Recursos Hídricos, com seus diversos elementos constituintes ali inseridos. Examinando-a, podemos, imediatamente, identificar os diferentes elementos que compõe o Sistema de Recursos Hídricos ali representado, tais como reservatórios (existentes e futuros), cursos de água, canais para tomadas de água, pontos de consumo. Podemos, inclusive, subdividir o sistema em componentes, agrupados segundo sua natureza própria (Viegas Fº, 1998a):

- os componentes naturais, tais como aqueles que encapsulam os processos atmosféricos e hidrológicos (precipitação, vazão e evapotranspiração), a superfície da bacia com suas diferentes coberturas e camadas sub-superficiais (onde acontecem os escoamentos superficiais e sub-superficiais), os aquíferos, as calhas dos cursos de água, dentre outros, responsáveis pela disponibilidade hídrica, qualitativa e quantitativa, espacialmente e temporalmente localizadas;

- os componentes representativos das demandas hídricas, quantitativas e qualitativas, igualmente espaço-temporalmente localizadas, constituindo-se, no exemplo, pelas demandas urbanas (DU), demandas de irrigação (DI) e demandas ecológicas (não identificadas), dentre outras tantas de existência possível;
- os componentes estruturais, capazes de modificar o padrão de distribuição espaço-temporal, qualitativo e quantitativo, da água, que podem se constituir por reservatórios, tomadas de água, canais de condução, dentre outros;
- os componentes institucionais que, embora não visíveis, instruem a forma como se dá a compatibilização entre as disponibilidades e as demandas hídricas e que podem se caracterizar por limitações referentes a outorgas para o uso da água e lançamento de efluentes, determinação de vazões ecológicas a serem mantidas, priorização para o atendimento de demandas, dentre outras;
- os componentes operacionais que, também não visíveis, respondem pela adequada operação dos elementos integrantes do sistema, visando garantir o cumprimento de regras pré-estabelecidas, tais como a guarda de volume de espera em reservatórios, visando o amortecimento de ondas de cheia em determinados períodos do ano, ou, ainda, o início de um racionamento antecipado em virtude da observância de determinadas condições hidroclimatológicas que recomendem tal procedimento, dentre outros.

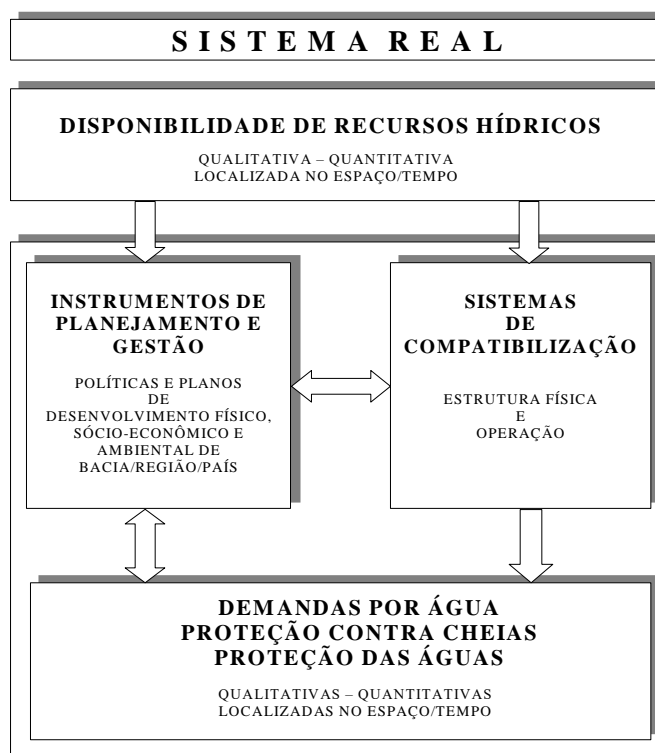


Figura 1 - Estrutura conceitual básica de um Sistema de Recursos Hídricos (VIEGAS, 1998a).

Todos esses componentes são passíveis de serem representados através de *objetos* e *classes*, juntamente com os *atributos* e *comportamento* que os caracterizam.

Um Sistema de Apoio à Decisão capaz de atender aos requisitos anteriormente mencionados pode ser conceitualmente representado através da Figura 3 e, em quaisquer das partes que o constituem, a MOO pode vir a ser de grande valia na sua construção. No presente trabalho, centralizaremos nossa atenção na contraparte que se refere à construção de modelos representativos dos Sistemas de Recursos Hídricos procurando mostrar dois aspectos de destacada importância: primeiro, a facilidade de representação de uma rede hidrográfica através das técnicas de MOO e, segundo, a grande capacidade de modularização possível de ser obtida garantindo uma fácil *adaptabilidade* e *extensibilidade* dos modelos, bem como a *reutilização de código*, diretamente, através do uso dos mecanismos de herança e polimorfismo.

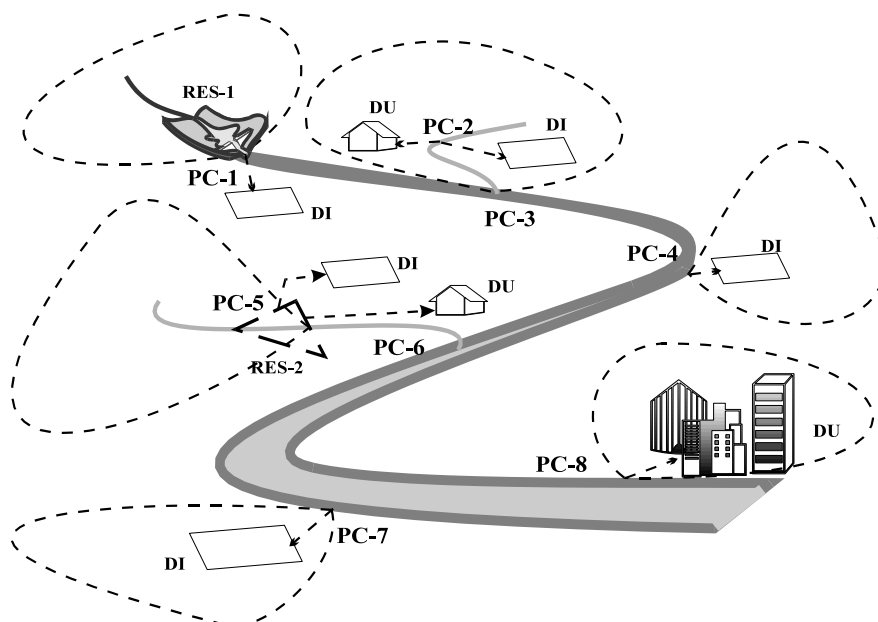


Figura 2 - Exemplo de disposição física de um Sistema de Recursos Hídricos (VIEGAS, 1998).

Pretende-se, ainda, dar uma ênfase especial à *análise*, visando destacar sua importância como uma forma mais objetiva e natural de se conceber o mundo real dos Sistemas de Recursos Hídricos –estabelecendo o *domínio do problema* -, com o propósito de facilitar o entendimento e a abstração dos diferentes elementos que o constituem, com seus *atributos* e *comportamentos* característicos – estabelecendo as *responsabilidades do sistema*. Entende-se por domínio do problema ao conjunto de assuntos que envolvem o problema em estudo e responsabilidade do sistema a todos os requisitos necessários para que o sistema modelado possa os abordar da forma mais eficiente possível. Desse modo, o domínio do problema delimita o campo de ação, enquanto a responsabilidade do sistema diz como e em que nível se dará essa ação (adaptado de Coad e Yourdon, 1992).

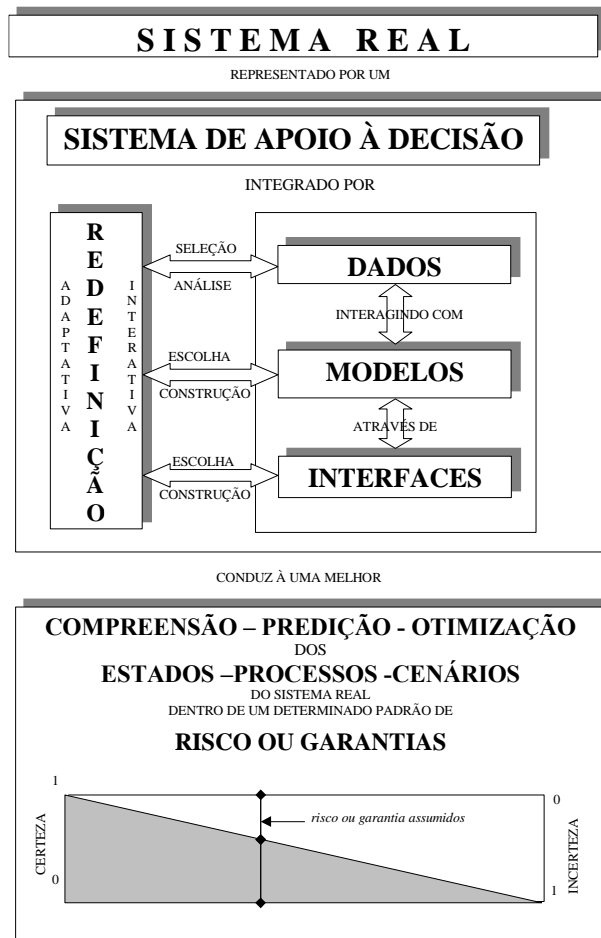


Figura 3 - Representação de um Sistema de Apoio à Decisão aplicado a um Sistema de Recursos Hídricos (Viegas Fº, 1998b).

Bases Gerais para a MOO de uma Rede Hidrográfica de um Sistema de Recursos Hídricos.

A Figura 4, apresenta uma Rede de um Sistema de Recursos Hídricos, composta por Nós (de passagem ou de armazenamento), que constituem os Pontos Característicos e pelos Trechos de Água, que os unem, lançados sobre um esquema de Bacia Hidrográfica. Os componentes que integram esta rede podem servir de base para a construção de modelos com diferentes finalidades na medida em que se constituem por elementos comuns à grande maioria dos Sistemas de Recursos Hídricos que sejam organizados em torno de uma bacia hidrográfica.

Os Pontos Característicos, são locais ao longo da bacia que apresentam importância e que portanto merecem receber algum tipo de controle. Esse controle pode ter os propósitos a seguir indicados, conforme os objetivos que norteiem os estudos e projetos desenvolvidos:

Estudos e Projetos destinados ao Planejamento do Uso da Água para o Atendimento de Demandas: Nesse caso, poderemos ter, em cada Ponto Característicos, a afluição de água das Sub-Bacias adjacentes (p.ex.: ligação de Sub-Bacia a PCs na Figura 4), a afluição de água dos PCs à montante, reservatórios de armazenamento e/ou geração de energia, localização de demandas diversas ou, ainda, simples detecção de vazão. Nos modelos de propagação concentrados, como os que são utilizados para fins de planejamento, onde não existe interesse em determinarem-se os hidrogramas em detalhe, como no caso do controle de cheias, os trechos simplesmente levam a vazão de um ponto ao outro sem maiores detalhamentos, ou seja, indicam que a vazão resultante de um PC à montante, depois de recebidas todas as suas afluições e atendidas as demandas, será transferida para o que lhe está imediatamente à jusante.

Estudos e Projetos destinados ao Controle de Cheias: Nesse caso, poderemos, em cada Ponto Característico, receber afluição de água das Sub-Bacias adjacentes ou dos PCs que lhe ficam à montante, possuir reservatórios para o amortecimento de ondas de cheias ou, ainda, ter, apenas, o propósito de fazer a determinação de vazões. Nesse caso, o importante é determinar-se o Hidrograma de Cheia em cada PC e a propagação de uma onda de cheia de um PC a outro através dos TrechosDagua. Esses últimos poderão ter divisões em sub-trechos, para cada qual será importante conhecer-se o hidrograma em propagação naquele ponto.

Estudos e Projetos destinados ao Controle de Qualidade da Água: Em tais casos, além de servir para os propósitos acima mencionados, um PC corresponde a um ponto de lançamento de efluentes em um curso de água ou, ainda, a um ponto de determinação da concentração de poluentes. Nesse caso, associado ao Trecho de Água entre dois PCs deve existir um ou mais métodos (procedimentos) que encapsulem a simulação de dispersão de contaminantes no corpo de água, bem como a monitoração da concentração resultante podendo-se verificar se a mesma atende a certos limites pré-estabelecidos.

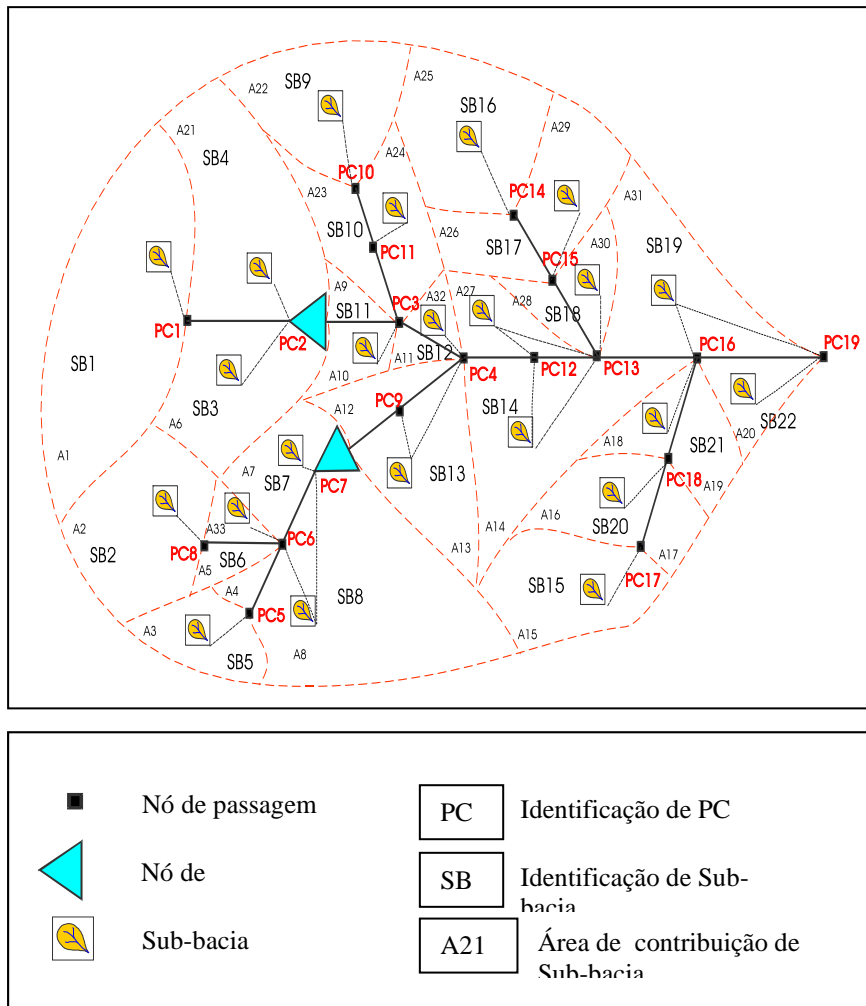


Figura 4 - Exemplo de Montagem de uma Rede Gráfica representativa de um SRH.

Na Figura 4, além dos elementos básicos que caracterizam a Rede Hidrográfica a ser estudada, aparecem as áreas de contribuição de cada sub-bacia. Essas, na verdade, estão indicadas topologicamente apenas para facilitar o entendimento de como o processo

de transformação chuva-vazão acontece fisicamente na bacia e a forma de como representá-lo. Os ícones com aspecto de um pequeno esquema de bacia, como se verá adiante na apresentação da concepção da aplicação exemplo, servem para isto. O Quadro 1, abaixo, indica quais áreas, no exemplo, contribuem para cada Sub-bacia. Com isso pode-se ver que uma Sub-bacia pode contribuir para mais de um PC e, também, que um PC pode receber contribuições de mais de uma Sub-bacia.

Quadro 1- Áreas que compõe um Sub-Bacia.

SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	SB7	SB8	SB9	SB10	SB11	SB12
A1	A2	A6	A21	A3	A5 A33	A7	A4 A8	A22	A23 A24	A9 A10	A11 A32
SB13	SB14	SB15	SB16	SB17	SB18	SB19	SB20	SB21	SB22	SB23	
A12 A13	A14	A15	A25	A26 A29	A28 A30	A31	A16 A17	A18 A19	A20	A27	

Dessa forma, é possível de serem concebidas *Classes de uma Rede Hidrológica Básica* à partir das quais, através da utilização dos mecanismos da MOO tais como a *herança* e o *polimorfismo*, possam ser construídas verdadeiras “estruturas-modelo” (“frameworks”) orientadas para a elaboração de modelos aplicados aos recursos hídricos.

A Figura 5, apresenta um Diagrama de Classes de uma Rede Hidrográfica Básica oriundo de um processo preliminar de análise. Cada retângulo constitui uma *classe* e as linhas que os unem os diferentes tipos de *associações* entre elas. Com exceção da Classe *AreaDoProjeto*, cujo propósito é o de servir de base de controle para o sistema modelado, como se fosse uma “prancheta virtual”, todas as demais classes integram o *domínio do problema*, ou seja, os elementos que caracterizam os componentes da rede hidrográfica diretamente relacionados com aspectos concretos do “mundo real”.

A Classe *PontoCaracteristico*, cuja definição foi apresentada acima para os diferentes tipos de destinação do modelo, apresenta uma *associação* do tipo um-para-muitos (a extremidade muitos é indicada através do círculo preto na extremidade da linha de associação) com a Classe *AreaDoProjeto*, significando que esta última contém e controla todos os PCs. Estes, por sua vez, contém e controlam os objetos da Classe *TrechoDagua* e os objetos da Classe *Sub-BaciaBase*. No primeiro caso, através de dois tipos de associações, onde cada PC está associado a todos os *TrechoDagua* que lhe ficam diretamente à montante, através de uma relação um-para-muitos (Associação: “Água vem dos PCs de Montante”), e a apenas um *TrechoDagua*, que lhe fica à jusante, estabelecendo uma relação um-para-um (Associação: “Água vai p/ PC de Justante”). No segundo caso, a Classe *Sub-BaciaBase* está associada à Classe *PontoCaracteristico* através de uma relação muitos-para-muitos, significando que um objeto PC pode estar associado a mais de uma Sub-bacia e que um objeto Sub-bacia pode estar associado a mais de um PC (Associação: “Água aflui ao PC”), conforme pode ser visto na Figura 4 e no Quadro 1. A Classe *Atmosfera* está associada através de uma relação um-para-um com a Classe *AreaDoProjeto* que a contém e que encapsula os métodos de controle do

atenderem cada uma das necessidades dos sistemas a serem modelados dentro de seus propósitos fundamentais. O importante, entretanto, é que se busque o estabelecimento de padrões que facilitem a aplicação dos mecanismos da MOO, levando à reutilização, à adaptabilidade e à extensibilidade das classes e dos módulos existentes.

No item seguinte será apresentada a concepção preliminar básica e o resultado final de uma aplicação especializada no âmbito do Planejamento e do Gerenciamento de Sistemas de Recursos Hídricos.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO.

O SAGBAH - Sistema de Gerenciamento de Bacias Hidrográficas -, constitui-se por um sistema computacional, originalmente desenvolvido em FORTRAN, e destinado a servir de apoio à tomada de decisões gerenciais relacionadas com o planejamento, o desenvolvimento e a análise da adequação de políticas de gerenciamento de bacias hidrográficas (Lanna, 1997).

O PROPAGAR é um dos módulos integrantes do SAGBAH, ao qual está integrado um modelo de simulação da propagação de vazões ao longo da bacia hidrográfica, submetida a decisões gerenciais relacionadas ao suprimento de demandas hídricas e a descarga de reservatórios.

Atualmente, encontra-se em desenvolvimento uma versão para Windows® dos módulos do SAGBAH, utilizando os conceitos da MOO para a construção de uma interface gráfica para os modelos desenvolvidos em FORTRAN. No que diz respeito ao PROPAGAR, entretanto, foi construída toda uma estrutura de classes capaz de encapsular todos os dados e os comportamentos necessários ao desenvolvimento dos processos de simulação. A

Figura 6, ilustra a estrutura decorrente do estudo preliminar do Diagrama de Classes do PROPAGAR. Nela estão indicadas todas as classes que constituem o domínio do problema. A elas, entretanto, foram acrescentadas outras classes complementares, não indicadas na figura, destinadas ao controle do processo simulação, à determinação de estatísticas e ao estudo da análise de risco e da análise econômica relativa ao atendimento de demandas, dentre outras.

Um conjunto de classes especiais destinada à construção e o controle dos elementos da interface gráfica foi desenvolvida buscando-se um grau de generalidade que permitisse aplicá-las a outros modelos destinados, por exemplo, ao controle de cheias e à qualidade das águas.

À partir da Classe Demanda foram retiradas duas classes descendentes: DemandaDifusa e DemandaLocalizada. A primeira encapsula os atributos e métodos relacionados com o atendimento das demandas que devem ser atendidas de forma difusa dentro das próprias sub-bacias geradoras da disponibilidade hídrica. A segunda, por sua vez, destina-se a encapsular os atributos e métodos referentes às *demandas localizadas*, destacando-se aqueles relacionados à apropriação, à verificação de atendimento e a

análise de falhas de demandas tipificadas em níveis de prioridade como *primária*, *secundária* e *terciária* em cada PC.

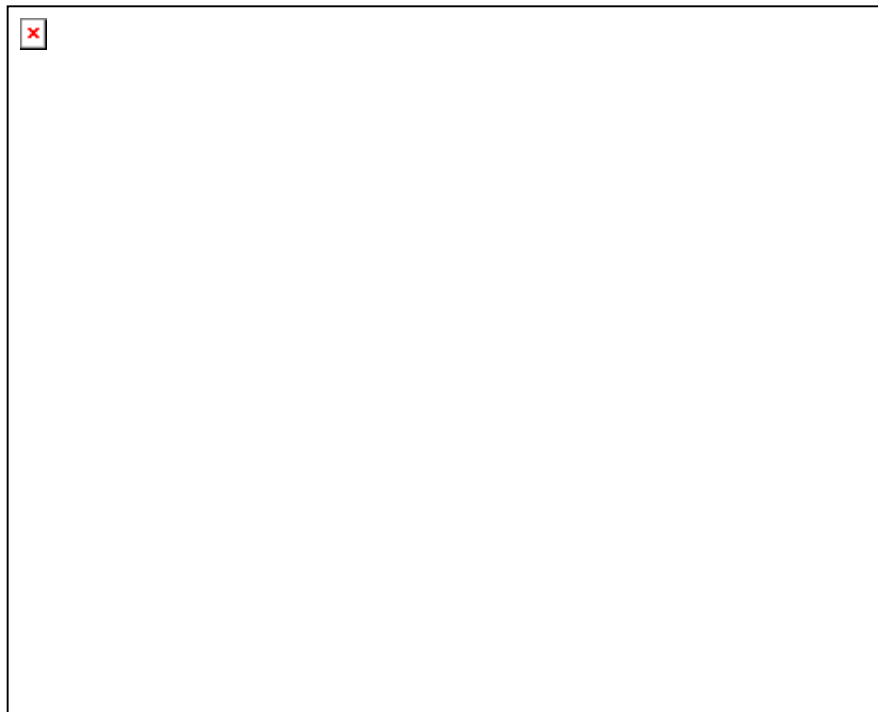


Figura 6 - Estrutura Preliminar do Diagrama de Classes do PROPAGAR 98.

No âmbito da Classe PontoCaracteristico e de suas descendentes pode-se destacar o encapsulamento do método BalancoHidrico, já mencionado, e, mais, do método Racional. Este último, também de natureza polimórfica, dependendo ser o PC, PontoDePassagem ou PontoDeArmazenamento, destina-se a promover o racionamento do uso da água quando a mesma não exista com disponibilidade suficiente para atender a totalidade das demandas ali existentes. Além disso, a classe PontoDeArmazenamento encapsula um método denominado Opera e a classe SimuladorRH (não indicada na figura), outro método, denominado Planeja. Ambos destinam-se a serem sobrescritos pelo usuário de modo que este possa testar o planejamento estratégico do atendimento de demandas no início de cada intervalo de tempo de simulação (método Planeja) para toda a bacia e, também, a operação dos reservatórios existentes (método Opera), no âmbito de cada um deles, durante o transcorrer do mesmo intervalo.

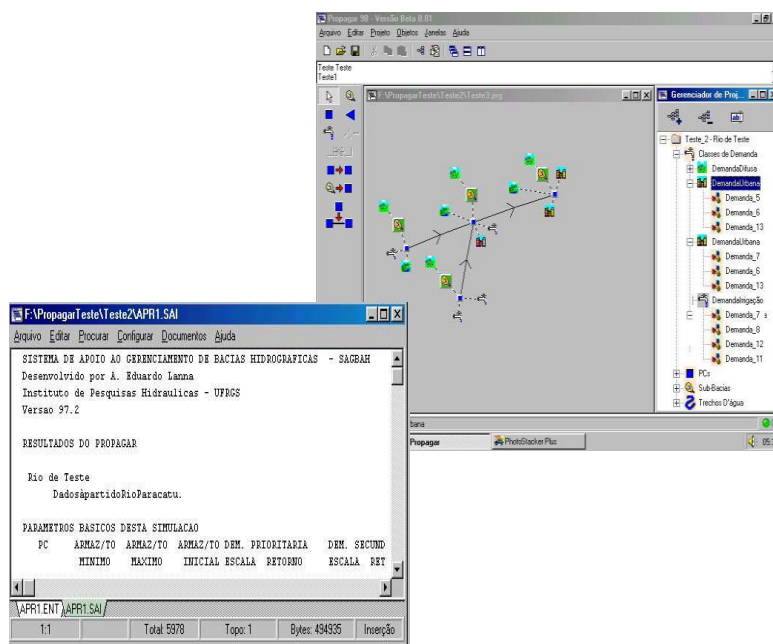


Figura 7 - Tela Principal e Editor de Textos do PROPAGAR 98.

A Figura 7, ilustra a tela principal do PROPAGAR onde pode-se visualizar um Projeto aberto sobre a Área de Projeto, apresentando a sua Rede Hidrográfica, com PCs, Trechos de Água, Sub-Bacias e diferentes tipos de Demandas. À esquerda da tela, aparece a Barra de Ferramentas com os diferentes componentes, acima mencionados, à disposição do usuário para serem colocados sobre a Área de Projeto. À direita, aparece o

Gerenciador de Projetos, possibilitando a identificação dos componentes constantes do Projeto aberto e selecionado. Colocando-se o apontador do mouse sobre qualquer elemento, seja na Área de Projetos ou no Gerenciador de Projetos e realizando um “duplo clique” é aberta uma janela de edição de dados daquele elemento.

Ainda, na Figura 7, à esquerda, aparece o Editor de Textos do PROPAGAR, apresentando em primeiro plano os resultados obtidos com uma simulação.

CONCLUSÕES.

Em virtude do acima exposto verifica-se que a MOO apresenta-se como uma excelente ferramenta para a modelagem de Sistemas de Recursos Hídricos em geral e Sistemas de Apoio à Decisão em especial, permitindo grande flexibilidade para construção de estruturas-modelo que possibilitem, posteriormente, sua extensão, adaptação e especialização.

Seria de especial importância que os administradores e planejadores unissem seus esforços com os pesquisadores e modeladores no sentido de discutir e estabelecer diretrizes para a elaboração de um padrão básico de desenvolvimento, que norteasse a construção de classes, de aplicativos e de seus componentes. Isso viria facilitar bastante um desejável aproveitamento das classes possibilitando, e, mesmo, muitas dissertações ou teses, poderiam, ser coroadas com a publicação simultânea de um conjunto de classe ou componentes oriundos da mesma, vindo a formar, como o passar do tempo, um conjunto de bibliotecas de cuja existência todos se beneficiariam.

BIBLIOGRAFIA.

- COAD E YOURDON. Análise Baseada em Objetos. Tradução de “Objectd-Oriented Analysis. Editora Campus. Rio de Janeiro. 1992. 225p.
- LANNA, A. E. Análise Sistêmica dos Recursos Hídricos – HIDP-64. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. 1997a.
- LANNA, A. E. Introdução. In: Porto, R. L. (organizador). Técnicas quantitativas para o gerenciamento de Recursos Hídricos. ABRH. Editora da Universidade-UFRGS. Porto Alegre. 1997b. 420p.
- LANNA, A. E. SAGBAH – Sistema de Apoio ao Gerenciamento de Bacias Hidrográficas – versão 97. IPH-UFRGS. 1997c. 25p.
- RUMBAUGH, J. et al. Modelagem e Projetos Baseados em Objetos. Tradução de “Object-Oriented Modeling and Design”. Editora Campus. Rio de Janeiro. 1997. 654p.
- VIEGAS Fº, J. S. Aplicação de Modelos de Redes de Fluxo aos Sistemas de Recursos Hídricos através do uso do Algoritmo de Otimização “Out-of-Kilter”. 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. 1998a 62p.
- VIEGAS Fº, J. S. 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. 1998b. 98p.
- WINDBLAD et al. Software Orientado ao Objeto. Tradução de “Object-Oriented Software”. Makron Books do Brasil Editora Ltda. São Paulo. 1993. 313p.

