

# **Topologia Hídrica: uma proposta para gestão de recursos hídricos utilizando sistema de informações geográficas**

Alexandre de Amorim Teixeira  
Alexandre do Prado  
Marco Antônio Silva  
Morris Scherer-Warren  
Regiane Maria Paes Ribeiro Hauschild  
Fernando Maciel Lima e Sousa  
Valdevino Siqueira Campos Neto

Agência Nacional de Águas – ANA, Brasília/DF  
Setor Policial Sul, Área 05 Quadra 03, Bloco "B" - Sala 105  
CEP.: 70610-200 – Brasília – DF, Brasil  
alexandre.amorim@ana.gov.br

**Abstract.** The National Water Resource Information System (SNIRH) is a management instrument defined by the Brazilian Federal Law 9.433 (08 of January of 1997). Since 2004, the SNIRH has been developed by the National Water Agency (ANA). The module of the SNIRH known as “Geographic Intelligence” is responsible for the interoperability of the system and is based on the topological information of the hydrological network. The topological information of the network is based on the Otto Pfafstetter’s basin codification, as well as the derived code for water course and river. OMT-G is used to model the geographic data base that will contain the attributes of the geospatial elements.

**Palavras-chave:** water resource, geographic information system, Otto Pfafstetter’s basin codification, recursos hídricos; sistema de informações geográficas; codificação de bacia de Otto Pfafstetter.

## **1 Introdução**

### **1.1 Instrumentos e princípios da Política Nacional de Recursos Hídricos**

A Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, Brasil (1997), instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), além de tratar de outras regulamentações.

Dentre os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, o art. 25 da referida lei estabelece que “o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos é um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão”, e que “os dados gerados pelos órgãos integrantes do SINGREH serão incorporados ao Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH)”.

Os princípios básicos do SNIRH, citados no art. 26 da mesma lei, compreendem a descentralização da obtenção e produção de dados e informações, a coordenação unificada do sistema e o acesso aos dados e informações garantidos a toda a sociedade.

Assim, os objetivos do SNIRH são: reunir, organizar, dar consistência e divulgar os dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos no Brasil; atualizar permanentemente as informações sobre disponibilidade e demanda de recursos hídricos em todo o território nacional; e fornecer subsídios para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos.

## 1.2 Construção da Base Hidrográfica Ottocodificada

Dentre os esforços de atendimento aos objetivos do SNIRH, especificamente no que se refere à modelagem e ao tratamento dos dados geoespaciais da rede hidrográfica que irão compor o banco de dados desse sistema, a Agência Nacional de Águas (ANA), por meio da COPPETEC/UFRJ (2001), com a contribuição do engenheiro Flávio José Lyra da Silva, começou o desenvolvimento da construção da base hidrográfica ottocodificada e passou a utilizá-la como suporte à gestão em seus processos internos. Desde então, a construção dessa base vem sendo aprimorada internamente na ANA e ajustada às necessidades de integração com banco de dados espaciais.

A construção da base hidrográfica ottocodificada consiste de um conjunto de processos para tratamento topológico da rede hidrográfica com base na codificação de bacias de Otto Pfafstetter (1989) e que permite associar e extrair informações a jusante e a montante de cada trecho da rede.

Os seguintes termos e expressões são adotados no contexto da construção da base hidrográfica ottocodificada:

- **Trecho de curso d'água** - segmento entre uma foz e sua confluência, ou segmento entre confluências, ou segmento entre uma confluência e sua nascente;
- **Curso d'água** - junção de trechos de curso d'água que segue da foz à cabeceira utilizando como critério a maior área a montante a partir de cada confluência;
- **Rio** - junção de trechos de curso d'água contínuos que possuem a mesma toponímia.
- **Nascente** - representação das nascentes dos  **cursos d'água**.
- **Confluência-Foz** - representação de todas as fozes de  **cursos d'água**.
- **Confluência** - representação das fozes de  **cursos d'água** que não deságuam no mar.
- **Foz** - representação das fozes de  **cursos d'água** que deságuam no mar.

Uma visão geral da construção da base hidrográfica ottocodificada é ilustrado na **Figura 1**.

1.

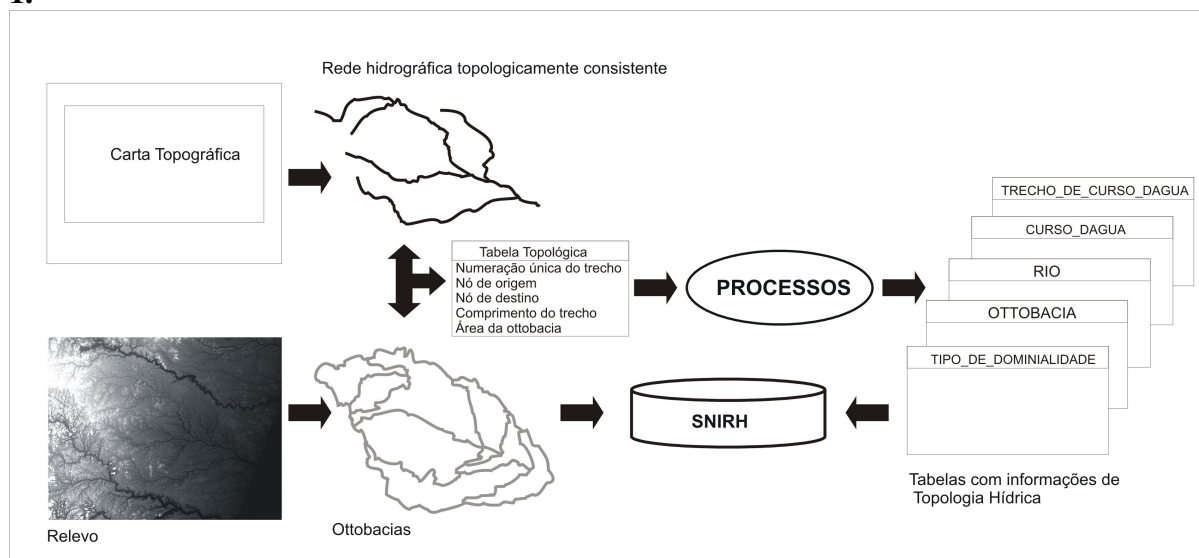


Figura 1: Desenho esquemático resumido do processo

Como produto da construção da base hidrográfica ottocodificada são geradas tabelas contendo informações da chamada “Topologia Hídrica”, aqui definida como um conjunto de informações agregadas e discretizadas por trecho de curso d'água tendo como referência a sua área de contribuição.

Essas informações são produzidas a partir de rede hidrográfica unifilar e discretizada por trechos de cursos d'água e referenciadas às áreas de contribuição de cada trecho.

## 2 Construção e Tratamento Topológico da Rede Hidrográfica

Para a construção e o tratamento topológico da rede hidrográfica, as seguintes etapas devem ser observadas de forma seqüencial:

- aquisição da base cartográfica;
- construção e edição topológica da rede hidrográfica;
- delimitação das bacias hidrográficas associadas a cada trecho de curso d'água;
- codificação de bacia de método de Otto Pfafstetter;
- sistematização da toponímia de rios; e
- incorporação das informações hídricas nativas.

### 2.1 Aquisição da base cartográfica

A hidrografia utilizada pela ANA na gestão de recursos hídricos é obtida a partir do Mapeamento Sistemático Brasileiro. Para fins de aplicação na construção da base hidrográfica ottocodificada, a estrutura de dados da hidrografia deve ser vetorial.

### 2.2 Construção e edição topológica da Rede Hidrográfica

A construção da base hidrográfica ottocodificada requer uma rede unifilar, topologicamente consistente quanto aos aspectos de conectividade, em formato de grafo (árvore) e sem confluências duplas. Esse requerimento também se aplica às tradicionais análises de rede em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

As representações de cursos d'água por linhas duplas ou por polígonos são adequadas para a visualização e a produção cartográfica. Entretanto, para a análise de redes e para a construção da base hidrográfica ottocodificada, os cursos d'água devem ser representados por segmentos de linha ou arcos (que representam os trechos de curso d'água), conectados por nós (que representam a nascente, as confluências e a foz).

Para que se possa extrair a topologia da rede hidrográfica, faz-se necessário representá-la sob a forma de uma estrutura lógica encadeada em que haja somente um ponto de saída (foz ou exutório) e um caminho único entre dois pontos (uma forma de grafo matemático denominado árvore). Isso significa que, para aplicação na construção da base hidrográfica ottocodificada, cada trecho da rede deve ter um único nó de origem e um único nó de destino, e cada nó da rede deve conectar dois trechos somente.

Assim, é necessário representar todos os trechos de curso d'água de margem dupla e os demais corpos d'água (lagos, reservatórios e brejos) por uma linha artificial única de centro. Para aplicações em navegação, essa linha artificial central poderá seguir outros requisitos de representação.

Em caso de bacias costeiras, utiliza-se a linha de costa como sendo o “curso d'água principal” da bacia onde a “foz” seria considerada como o ponto da linha de costa mais a Norte, em sentido horário. Por outro lado, o ponto da linha de costa mais a Sul é considerado como a “cabeceira” do “curso d'água principal” da bacia (**Figura 4**).

Entende-se como curso d'água principal aquele que possui a foz da maior bacia.

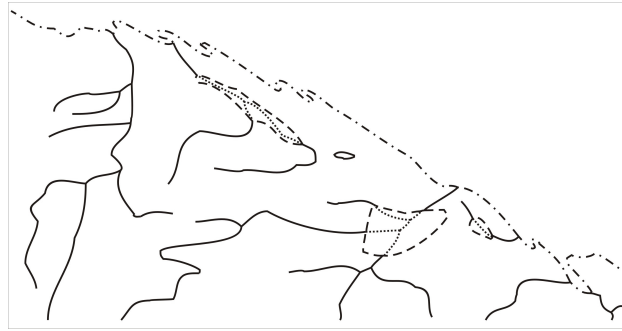


Figura 4: Exemplo de edição de rede hidrográfica para formato de árvore de bacia costeira (Legenda: Linha contínua- mantida a vetorização; Linha tracejada – vetorização eliminada; Linha pontilhada – vetorização inserida, Linha tracejada e pontilhada – Linha costeira)

Vale ressaltar a importância de se garantir a conectividade espacial, ou seja, estabelecer a chamada “estrutura arco-nó”. Nesse contexto, é importante que sejam utilizadas ferramentas computacionais adequadas para a edição topológica de redes, visando a utilização em SIG. Essas ferramentas devem permitir o processamento e a extração das seguintes informações essenciais à construção da base hidrográfica otocodificada e inerentes à modelagem de redes em SIG:

- codificação numérica e única de cada trecho de curso d’água (arco);
- codificação numérica e única de cada nó da rede (nó de origem e nó de destino); e
- comprimento de cada trecho.

Tradicionalmente, os aspectos operacionais de edição topológica fazem parte do escopo de treinamentos básicos de operação dos programas computacionais de SIG.

Dentro do método da construção da base hidrográfica otocodificada, os itens acima são armazenados em uma tabela com cinco colunas, sendo que cada uma delas contém os seguintes atributos que expressam a topologia da rede:

- a primeira coluna apresenta a numeração única do trecho;
- a segunda coluna estabelece a numeração do nó de origem do trecho;
- a terceira coluna define a numeração do nó de destino do trecho;
- a quarta coluna contém o comprimento do trecho; e
- a quinta coluna representa a área de contribuição equivalente ao trecho.

### 2.3 Definição da bacia de contribuição sobre a rede hidrográfica

Ao longo da rede hidrográfica pode-se determinar infinitos pontos a partir dos quais está associado uma bacia de contribuição. Para solucionar esse problema de determinações de infinitas bacias, o tratamento topológico de rede considera uma área de contribuição em um universo discretizado.

A rede hidrográfica topologicamente consistente, os traçados dos limites das bacias de contribuição de cada trecho de curso d’água e o relevo da área de estudo devem estar compatíveis entre si dentro da mesma escala de trabalho. Nas aplicações hidrológicas em SIG, os dados de relevo são comumente representados por Modelos Digitais de Elevação (MDE) hidrológicamente consistente. As ferramentas dos softwares de edição utilizadas devem permitir a comparação dos elementos vetoriais da rede hidrográfica com os dados de relevo.

Uma vez produzidos os limites dessas bacias de contribuição, deve ser realizada uma edição de ajuste para garantir a compatibilização entre os trechos de cursos d’água, as suas respectivas bacias e o relevo.

Com isso, considerando a segmentação de bacias, interbacias e intrabacias, é possível associar diversos atributos a cada trecho de curso d’água e a sua respectiva área de

contribuição. Por outro lado, essas áreas discretizadas de contribuição podem ser agregadas para reconstituir, assim, a bacia de todos os trechos a montante considerados.

## 2.4 Codificação de Bacias de Otto Pfafstetter

### 2.4.1 Definição

A codificação de bacias de Otto Pfafstetter permite a hierarquização das bacias hidrográficas, ou seja, a definição da posição relativa e o ordenamento entre as bacias e interbacias.

De posse do código de Otto Pfafstetter pode-se identificar a posição relativa de uma **bacia ou interbacia** com relação às demais, sejam estas subdivisões ou localizadas a montante ou a jusante.

### 2.4.2 Codificação de Ottobacias

A codificação de Otto Pfafstetter se baseia nos seguintes princípios:

- o curso d'água principal de uma bacia é sempre o que tem a maior área de contribuição a montante;
- a partir da identificação do curso d'água principal, codificam-se suas bacias afluentes por área de contribuição;
- as quatro bacias maiores recebem códigos pares que são atribuídos de jusante a montante: a bacia mais a jusante é a de código 2, a bacia imediatamente a montante desta recebe o código 4, a próxima recebe o código 6 e a mais a montante de todas, 8; e
- as interbacias recebem códigos ímpares, sendo a da foz a número 1, a interbacia entre as bacias 2 e 4 recebe o valor 3, e assim por diante, até a última bacia de montante, que recebe o número 9.

Para melhor compreensão dos princípios da codificação de Otto Pfafstetter ver **Figura 5**.

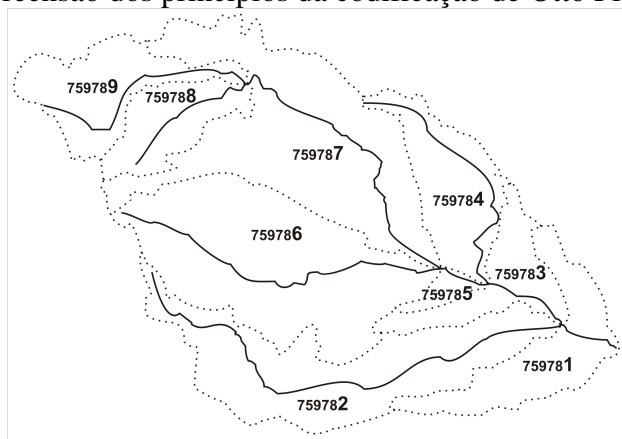


Figura 5: Exemplo de codificação de bacia do rio Itaúnas, prefixo 75978

Cada bacia, interbacia e intrabacia devidamente codificada e discretizada, conforme o nível de detalhe para o trecho, passa a ser uma **Ottobacia**.

Cada uma das bacias determinadas pode ser novamente codificada, conforme o nível de detalhe a atingir, sendo então atribuído um algarismo adicional. As bacias pares são codificadas como uma nova bacia integral, sendo que cada afluente, no trecho correspondente à maior área de contribuição, passa a ser considerado um novo curso d'água principal. As interbacias são codificadas considerando-se o mesmo rio principal da fase anterior, restrito ao trecho incremental considerado. O processo pode ser repetido enquanto houver afluentes na rede hidrográfica representada na escala de trabalho adotada.

### 2.4.3 Codificação de Cursos D'água

A codificação de Otto Pfafstetter tem como foco as bacias, mas pode ser adaptada para a codificação de cursos d'água. No método da construção da base hidrográfica ottocodificada adaptou-se a codificação de bacias aos respectivos trechos de curso d'água. Nessa adaptação, o código de curso d'água deriva do próprio código da bacia, mas excluídos os últimos algarismos ímpares, que identificam as interbacias, até o próximo número par (**Figura 6**).

Após cada trecho de curso d'água receber sua codificação, pode-se armazenar este código em banco de dados relacional e, por meio de consultas, selecionar todas as bacias e interbacias a montante e a jusante de um trecho. A codificação de bacias de Otto Pfafstetter e a sua adaptação para codificação de curso d'água atuam como índices espaciais específicos para regras de negócio nos sistemas de informação de gestão de recursos hídricos.

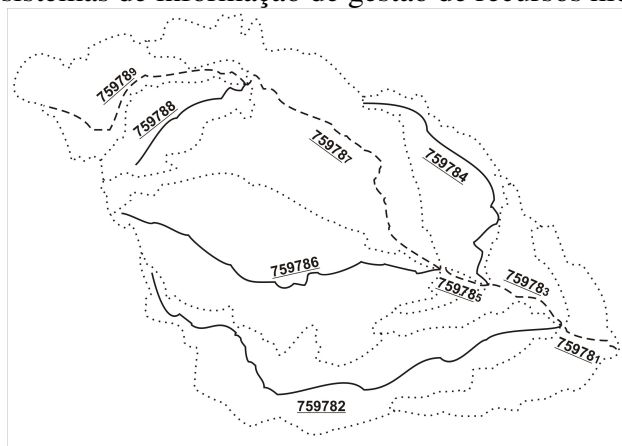


Figura 6: Exemplo de codificação de curso d'água da bacia do rio Itaúnas (números sublinhados). Numeração menor equivale aos algarismos que foram eliminados da codificação de bacia.

### 2.5 Rotina Topologia Hídrica

No atual estágio do método da construção da base hidrográfica ottocodificada, a determinação do código de Otto Pfafstetter dos trechos de curso d'água, de bacia e as informações de topologia hídrica são executadas por meio do algoritmo desenvolvido na ANA, denominado “Topologia Hídrica”. O arquivo texto de entrada deve conter os campos TRECHO, NODE, NOPARA, COMP e AREA. Cada um dos registros dessa tabela refere-se a um trecho de curso d'água ou arco e deve possuir identificação única (campo TRECHO), bem como informações topológicas dos trechos de rios, como “nó de origem” (NODE) e “nó de destino” (NOPARA), comprimento do trecho (COMP) e a área de sua Ottobacia de contribuição direta (AREA).

O resultado do processamento são duas tabelas de saída: TRECHO DE CURSO D'ÁGUA e CURSO D'ÁGUA. Essas tabelas contêm dados que representam a relação espacial entre os cursos d'água e os trechos de cursos d'água, bem como a codificação de Otto Pfafstetter de bacia e curso d'água referenciado para cada trecho.

### 2.6 Sistematização de toponímia de cursos d'água (Código de Rio)

A sistematização de toponímia de cursos d'água é realizada por meio de álgebra relacional em banco de dados. No decorrer desse texto, o termo “rio” caracteriza um ou mais trechos de curso d'água contínuos que possuem a mesma toponímia.

A codificação de Otto Pfafstetter se baseia no critério hidrológico, considerando como curso d'água principal aquele de maior área de contribuição a montante. Isto faz com que,

mesmo com os seus nomes não atribuídos, os cursos d'água, já estejam matematicamente identificados. A atribuição de nomes, neste caso, fica facilitada, exigindo apenas que se faça a correspondência do código de curso d'água com o nome do rio e a sua relação com a distância à foz da bacia.

A nomenclatura dos rios adotada na construção da base hidrográfica ottocodificada utiliza a toponímia extraída da cartografia sistemática. A sistematização divide a toponímia nos campos “corpo d'água” (decorpodag), “ligação” (deligacao) e “nome” (norio), em que corpo d'água identifica o tipo de curso d'água, tais como rio, ribeirão, córrego, cañada, fleuve, entre outros. A “ligação” compreende preposições utilizadas para ligar os “corpos d'água” com o “nome” do rio como, por exemplo, de, da(s), do(s), del, de la(s), de los, entre outros. O “nome” é a denominação que compreende o topônimo completo sem o tipo de corpo d'água que o define e de sua preposição de ligação, caso ocorra. Lembra-se que toponímias não devem ser escritas por meio de abreviações. Por exemplo, deve-se escrever “Santa Maria” e não “S. Maria”.

Depois de sistematizadas todas as partes que compõem os nomes de rios ambas são concatenadas para compor o seu topônimo completo. Para cada rio é atribuído um código único relacionado ao código de curso d'água de Otto Pfafstetter que permite distinguir dois rios homônimos em bacias diferentes.

O raciocínio utilizado para isso é o seguinte: o nome de rio completo terá seu código formado pelo código de curso d'água do trecho mais a jusante concatenado o número zero. Se já existe um nome de rio mais a jusante do curso d'água, esse receberá o código do curso d'água concatenado mais ao número 1 e assim por diante (figura 7). Esse código é chamado de **código de rio** (corio). O resultado desse procedimento é a existência da tabela: RIO. Os campos da tabela RIO compreendem: **corio** – código Otto Pfafstetter do nome do rio; **decorpodag** – tipo de corpo de água (Rio, Ribeirão, Córrego, etc.); **deligacao** – preposição de ligação (de, da, do, del, etc.); **norio** – nome do rio propriamente dito e **noriocomp** – nome completo do rio (conjugação de decorpodag + deligacao + norio).



Figura 7: Exemplo de codificação de rio da bacia do rio Itaúnas, prefixo 75978

## 2.7 Extração de informações hídricas nativas e normalização de tabelas

As informações resultantes e relacionadas à topologia hídrica são de três naturezas: nativas, agregadas e hidrorreferenciadas. As informações nativas envolvem as informações originadas diretamente da rede hidrográfica e da construção da base hidrográfica ottocodificada, como comprimento do trecho, distância a foz da bacia ou do curso d'água, área de contribuição do trecho, área a montante, e conexão entre rios, por exemplo. As informações agregadas são as resultantes de sobreposição espacial entre um plano de informação qualquer e as Ottobacias. As informações hidrorreferenciadas resultam da agregação por proximidade das feições

espaciais, tendo como referência às informações da topologia hídrica referenciadas aos trechos de curso d'água.

A construção da base hidrográfica ottocodificada também compreende o pré-processamento de informações hídricas em banco de dados geográficos com conseqüente modelagem, transformação e normalização das tabelas originais citadas. A **Figura 9** apresenta o diagrama de classes conceitual, de acordo com a modelagem OMT-G, Davis (2000).

No final do processo são produzidas oito tabelas ou entidades:

- TRECHO\_DE\_CURSO\_DAGUA;
- CURSO\_DAGUA;
- RIO;
- TIPO\_DE\_DOMINIALIDADE; e
- OTTOBACIA;
- CONFLUÊNCIA;
- FOZ;
- NASCENTE.

A tabela TRECHO\_DE\_CURSO\_DAGUA está associada às tabelas CURSO\_DAGUA e RIO por meio da relação n:1 (**Figura 9**). A tabela OTTOBACIA está relacionada com a tabela TRECHO\_DE\_CURSO\_DAGUA por meio de uma relação 1:0..1, pois cada trecho de curso d'água está associado a uma Ottobacia, com exceção das Ottobacias de contribuição direta para o mar, que não possuem nenhum trecho associado. A Tabela NASCENTE está associada à tabela CURSO\_DAGUA pela relação 1:1, pois cada curso d'água possui uma nascente. Já as entidades CONFLUÊNCIA e FOZ são complementares e estão associadas à tabela CURSO\_DAGUA pela relação 1:0..1, pois cada curso d'água possui uma confluência ou foz.

### 3 Considerações Finais

A base hidrográfica ottocodificada consiste de um modelo de dados discretos, pois esta deriva e está em conformidade com a codificação de bacias de Otto Pfafstetter, que intrinsecamente já é um modelo discreto.

A utilização dessa base em Sistema de Informações Geográficas ajuda os gestores na tomada de decisão em recursos hídricos, principalmente no que diz respeito à divisão de unidades de gestão que se baseia na divisão por bacias e a determinação de dominialidade de cursos d'água.

Vale ressaltar que a base hidrográfica ottocodificada soluciona grande parte dos problemas para gestão em recurso hídricos, mas não todos, pois esse modelo de dados espaciais discretos possui algumas limitações de escala e granularidade. Essa análise só é válida a partir do momento que a escala de análise não seja menor do que uma ottobacia ou trecho de curso d'água e que a granularidade atenda a precisão solicitada.

Como o modelo de dados espaciais discretos deriva do modelo contínuo de dados (modelo digital de elevação hidrologicamente consistente) utiliza-se um modelo híbrido de dados espaciais, contínuo e discreto, para aquisição, em qualquer escala e independente da granularidade, de informações pertinentes à tomada de decisão.

### Referências

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 9 jan. 1997. Seção 1, p. 470.



Davis, C.A. **Múltiplas Representações em Sistema de Informações Geográficos**. 2000. 106p. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2000.

Pfafstetter, O. **Classificação de bacias hidrográficas: metodologia de codificação**. Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), 1989. 19 p. Trabalho não publicado.

PROJETO gestão dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, RJ. Sistema de informações e de apoio à decisão de outorga para a bacia do Rio Paraíba do Sul: PGRH-RE-03-RO. Rio de Janeiro: ANA ; COPPETEC/UFRJ, 2001. 79 p.

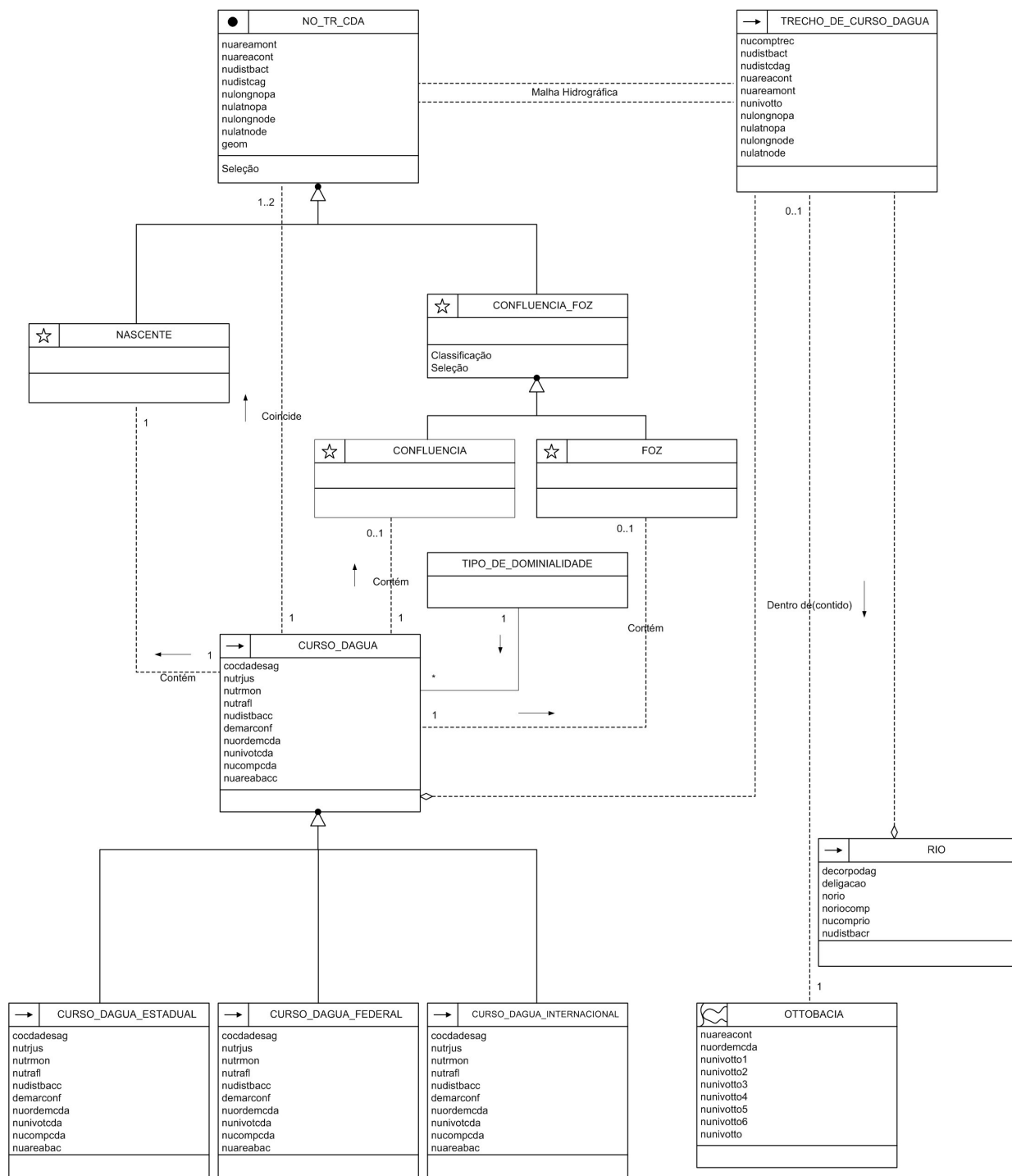


Figura 9: Modelo de classes conceitual