

Modelagem de Processos de Análise Geográfica Utilizando o *Framework* GeoFrame

CLÁUDIO RUSCHEL¹

CIRANO IOCHPE¹

JUGURTA LISBOA FILHO²

¹UFRGS-Instituto de Informática, Caixa Postal 15064, 91501-970 Porto Alegre, RS, Brasil

²UFV-Departamento de Informática, Campus Universitário, 36570-000 Viçosa, MG, Brasil

claudior@inf.ufrgs.br , ciochpe@inf.ufrgs.br , jugurta@dpi.ufv.br

Resumo. O potencial de executar-se processos de análise geográfica sobre os componentes do banco de dados geográficos é, de forma geral, a maior motivação para justificar os investimentos necessários para a sua construção. A formalização desses processos em um modelo conceitual, na fase de projeto, desvincula a necessidade de uso da terminologia específica que cada *software* de SIG utiliza. Esse artigo apresenta uma solução que estende um *framework* conceitual (GeoFrame) com uma semântica que suporta a expressão de processos de análise geográfica. Os processos são identificados a partir da elaboração de diagramas de casos de uso e iniciais de atividade, incorporados no diagrama de classe e detalhados através de diagramas de atividade. Esse último diagrama especifica a execução parcial de operações de análise geográfica utilizando elementos de modelagem introduzidos na versão 2.0 da UML. Com essa extensão, e devido à compatibilidade com a UML, o GeoFrame permite a especificação de aspectos estáticos e dinâmicos de um SIG através de ferramentas CASE.

1 Introdução

O conhecimento do espaço em que vivemos sempre foi de grande valor para a humanidade. Há alguns séculos atrás, a informação geográfica era imprecisa, pouco organizada e pouco disponível. Essas limitações não se verificam mais nos dias de hoje. Para muitas regiões do planeta existe informação geográfica em abundância, obtida através de métodos que garantem sua precisão.

Nos últimos anos, a utilização da informática tem colaborado decisivamente na organização e disponibilização da informação geográfica. Informações espaciais e descritivas são mantidas integradas em Bancos de Dados Geográficos (BDG). A apresentação (usualmente sob forma de mapas) e a geração de nova informação a partir do processamento desses dados ocorre através de Sistemas de Informação Geográficos (SIG).

A construção de um BDG, em geral, requer um elevado investimento, principalmente quando são necessários serviços como os de aerofotogrametria, sensoriamento remoto, topografia ou digitalização. Esse investimento é justificável através dos resultados que podem ser obtidos a partir da execução de processos sobre os componentes desse banco de dados, que vão desde simples consultas até complexos algoritmos de análise espacial.

Um Processo de Análise Geográfica (PAG) é constituído de um conjunto de operações de análise geográfica, as quais são executadas de forma seqüencial ou paralela. Por exemplo, na área ambiental, um PAG pode indicar a localização mais adequada para uma área de preservação. Na área de concessionárias de serviços públicos, um PAG pode diagnosticar

problemas nas condições de atendimento. Tais processos podem ser executados através dos recursos oferecidos por um *software* de SIG ou programados com o auxílio de bibliotecas de componentes de *software*.

O entendimento, na fase de projeto do BDG, da relação de dependência entre os dados originais e dados que devem ser gerados, assim como quais recursos devem ser utilizados em um PAG, apresenta vantagens. Com esse entendimento, podem ser observados quais os dados críticos que devem ser adquiridos e quais os requisitos que um *software* de SIG deve atender para executar os processos previstos. Dessa forma, os investimentos na obtenção de dados e na aquisição de licenças de *software* podem ser direcionados com maior objetividade.

Quando os processos não são especificados com clareza, a sua resolução depende exclusivamente da perícia do operador do *software* de SIG ou do programador apenas no momento de colocá-los em prática, o que coloca em risco a qualidade do resultado desejado.

Paradoxalmente, ao executar-se um levantamento sobre recursos para modelagem de processos de análise geográfica em nível conceitual, percebe-se que são pouco disponíveis em modelos voltados a projeto de BDG. Em compensação, para esse tipo de modelagem, utiliza-se técnicas com um formalismo mais simples.

Muitas técnicas, principalmente as implementadas em *software* de SIG, utilizam uma variação da modelagem cartográfica, que é uma metodologia "orientada a funções" proposta por Tomlin [19]. Na modelagem cartográfica cada conjunto de dados é considerado como um "*layer*". Os "*layers*" são simbolizados através de seus nomes envolvidos em uma

caixa, enquanto que as funções (ou operações) que atuam sobre esses dados são expressas sobre arcos orientados. Não há a preocupação de enquadrar os “layers” da modelagem cartográfica em uma estrutura de BDG e estabelecer uma relação entre eles.

As particularidades da natureza da informação geográfica provocou o desenvolvimento de soluções específicas para a modelagem de dados geográficos [10], principalmente voltadas a aspectos estáticos, como estruturação dos dados e de seus relacionamentos. Dentre esses modelos, apenas alguns contemplaram também aspectos dinâmicos, o que permite a modelagem de processos de análise geográfica, como é o caso do GMOD [15], do OMT-G [7] e do Tryfona+ [12]. Tanto o GMOD quanto o Tryfona+ restringiram-se a modelar os aspectos externos de um processo, ou seja, como o processo se relaciona com as demais entidades do BDG. O OMT-G, através do diagrama de transformação, modela os aspectos internos de um processo, incluindo operações de análise geográfica, através de uma semântica própria.

Esse artigo apresenta uma solução para a especificação de processos de análise geográfica em nível conceitual, contemplando aspectos externos e internos, através da extensão dos recursos oferecidos pelo *framework* conceitual GeoFrame [9]. O restante do artigo está organizado como segue. Na Seção 2, são apresentadas as principais características do GeoFrame. Na Seção 3, é apresentada uma classificação de operações de análise geográfica a serem utilizadas nessa extensão. A modelagem de processos de análise geográfica utilizando o GeoFrame é descrita na Seção 4. Um exemplo de aplicação da metodologia desenvolvida é apresentado na Seção 5. Na Seção 6, além das conclusões, são destacados possíveis trabalhos futuros relacionados a essa extensão.

2 Modelo UML-GeoFrame

O GeoFrame é um *framework* conceitual baseado no formalismo de orientação a objetos utilizando a linguagem UML. O conceito de *framework* adotado no GeoFrame é o de um projeto genérico em um domínio que pode ser adaptado a aplicações específicas, servindo como um molde para a construção de aplicações.

O *framework* oferece um diagrama de classes, que está especificado no pacote PGeoFrame (Figura 1) [11]. Este diagrama é usado como base para a modelagem das classes de um domínio de aplicação, no caso, de aplicações geográfica (pacotes Tema). Os esquemas de dados produzidos com o uso desse *framework* podem ser denominados como esquemas UML-GeoFrame. Além disso, o GeoFrame pode ser utilizado na especificação de padrões de análise em banco de dados geográficos.

Uma extensão ao pacote PGeoFrame, suportando aspectos temporais foi proposta por Rocha [18], que apresentou o pacote PGeoFrame-T. Conforme apresentado no diagrama de pacotes da Figura 1, o PGeoFrame-T importa o PGeoFrame. Portanto, o usuário do GeoFrame tem duas alternativas de modelagem. Para modelar apenas os aspectos espaciais de um BDG, deve-se utilizar o pacote PGeoFrame. Entretanto, para expressar também os aspectos temporais, deve-se usar o PGeoFrame-T.

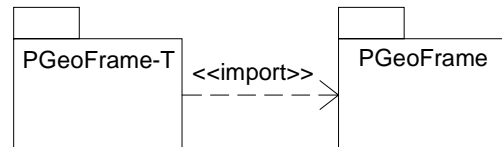


Figura 1 Pacotes PGeoFrame-T e PGeoFrame.

Para definir o esquema conceitual do BDG de uma aplicação, o usuário define classes da aplicação como especialização de classes do GeoFrame. Após, agrupa classes mais afins em temas distintos e, para cada tema, desenvolve um diagrama de classes utilizando os recursos da UML.

Os objetos que possuem característica espacial recaem na classe FenômenoGeográfico, enquanto que os demais, também denominados como objetos descritivos, recaem na classe ObjetoNãoGeográfico. Seguindo o princípio da dicotomia de visão de campos e objetos introduzida por Goodchild [8], o GeoFrame especializa FenômenoGeográfico nas classes ObjetoGeográfico e CampoGeográfico, que são representados, respectivamente, por ObjetoEspacial e RepresentaçãoCampo. Conforme pode ser verificado na Figura 2, a forma de representação é indicada através de um conjunto de estereótipos, apresentados como pictogramas no canto superior direito do retângulo que indica a classe. Os esquemas UML-GeoFrame podem ser construídos utilizando-se ferramentas CASE compatíveis com a linguagem UML e que consigam apresentar estereótipos sob forma de pictograma.

ObjetoEspacial	RepresentaçãoCampo
Ponto	GradeCélulas
Linha	GradePontos
Polígono	PolAdjacentes
Complexo	Isolinhas
	TIN
	PontosIrregulares

Figura 2 Estereótipos do GeoFrame.

O *framework* conceitual GeoFrame diferencia-se de outros modelos conceituais para tipos de dados

geográficos ao buscar a compatibilidade total com a linguagem UML. A partir dessa compatibilidade, permite que suas características e definições sejam melhor exploradas, podendo beneficiar-se dos recursos oferecidos pelas diversas ferramentas de modelagem da UML.

Para que a infraestrutura oferecida pelo GeoFrame possa também ser utilizada para descrever os aspectos dinâmicos de um BDG, é necessária a incorporação de recursos como os descritos a seguir:

- Oferecer um catálogo de operações de geoprocessamento de tal forma que possam ser utilizadas na especificação de processos;
- Capacidade de expressar, em um diagrama de classes, associações entre as classes originais e derivadas resultantes de processos de análise geográfica;
- Oferecer uma metodologia para especificação de processos de análise geográfica, utilizando outros recursos da UML ainda não explorados, como os diagramas comportamentais ou a expressão de processos no diagrama de classes.

3 Classificação de operações de análise geográfica

A natureza espacial dos dados geográficos possibilita que se aplique operações geométricas e funções topológicas sobre eles. A forma de classificar e apresentar tais operações ainda é uma questão em aberto na área da geoinformação. Ao deparar-se com tamanha diversidade de conceitos e nomenclaturas sobre as operações de análise geográfica, o projetista que deseja explicitar o uso de algumas dessas operações, ainda na fase do projeto conceitual, pode ficar confuso.

Realizou-se um levantamento sobre como as operações são classificadas por diversos autores, dentre eles [1], [2], [5], [6], [7], [14], [19], levando-se em consideração o nível de abstração utilizado. Buscou-se, a partir desse levantamento, selecionar um conjunto de operações suficiente para especificar grande parte dos processos mais comuns de análise geográfica, conforme detalhado em [16].

Com a utilização do GeoFrame é possível desenvolver-se um catálogo de padrões de análise, que vai evoluindo conforme o uso. De forma análoga, a intenção é oferecer, junto com a extensão do GeoFrame para especificação de processos de análise geográfica, um catálogo básico de operações. Esse catálogo deve ser independente de *software* e poder ser ampliado pelo usuário, conforme os requisitos dos processos de análise geográfica que forem implementados sobre o BDG.

Para estabelecer-se o conjunto básico de operações, tomou-se como principal referência a

classificação desenvolvida por Albrecht [1], conforme apresentado na Tabela 1, no idioma original.

Agregou-se conceitos desenvolvidos por outros autores, o que levou à supressão e adição de operações àquela classificação. O resultado desse estudo definiu as operações do catálogo do GeoFrame, apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1 Classificação de operações segundo Albrecht.

Grupo	Operações
<i>Search</i>	<i>Interpolation, Thematic Search, Search by Region, (Re-)classification</i>
<i>Location Analysis</i>	<i>Buffer, Corridor, Overlay, Thiessen/Voronoi</i>
<i>Terrain Analysis</i>	<i>Slope/Aspect, Catchment/Basins, Drainage/Network, Viewshed Analysis</i>
<i>Distribution/Neighborhood</i>	<i>Cost/Diffusion/Spread, Proximity, Nearest Neighbor</i>
<i>Spatial Analysis</i>	<i>Multivariate Analysis, Pattern/Dispersion, Centrality/Connectedness, Shape</i>
<i>Measurements</i>	<i>Measurements</i>

Para cada operação determinou-se os possíveis parâmetros de entrada e tipos de resultado, conforme as representações previstas no GeoFrame. Optou-se em, sempre que possível, utilizar generalizações para os tipos de dados. Quando qualquer representação de campo ou objeto é aplicável, utiliza-se os termos que identificam as classes ObjetoGeográfico e CampoGeográfico. Apenas quando qualquer representação é aplicável utiliza-se a classe geral FenômenoGeográfico.

Tabela 2 Catálogo de operações do GeoFrame.

Operação	Parâmetros de Entrada	Resultado
Seleção	Fenômeno ; expressão lógica	Fenômeno
Seleção Espacial	Objeto ; predicado espacial	Objeto
Seleção por Região	Fenômeno ; região	Fenômeno
Classificação	Fenômeno ; método	Fenômeno
Zona de Influência	Fenômeno ; distância	Campo ou Polígono
Superposição	Fenômeno1 ; Fenômeno2 (restrição) ; operador booleano	Fenômeno
Diagrama Voronoi	PontosIrregulares	PolAdjacentes
Declividade	Campo	Campo
Intervisibilidade	Campo ; região ; altura	Campo
Difusão	GradeCélulas ou Linha ; origem ; dominância	GradeCélulas ou Linha
Transformação	Fenômeno ; sistema origem; sistema destino	Fenômeno
Distância	Objeto1 ; Objeto2	Distância
Centróide	Polígono	Ponto
Agregação	Linha ou Polígono ; atributo	Linha ou Polígono
Interpolação	Fenômeno ; método ; parâmetros numéricos	Fenômeno

4 Especificação de processos de análise geográfica

Segundo Booch [4], a UML (*Unified Modeling Language*) é uma linguagem para especificação, principalmente, de sistemas complexos de *software*. Entretanto, é suficientemente expressiva para modelar inclusive sistemas que não sejam de *software*. A universalização de seu uso demonstra seu potencial.

O GeoFrame oferece recursos que simplificam o uso da UML na elaboração de esquemas conceituais de BDG. Neste trabalho, propõe-se a extensão do GeoFrame seguindo na mesma linha, ou seja, a de simplificar o uso da UML, desta vez na especificação de processos de análise geográfica.

Para modelar processos desse tipo, optou-se pela adaptação de uma metodologia reconhecida para desenvolvimento de *software* utilizando a UML, que é o RUP (*Rational Unified Process*). Utilizou-se a simplificação descrita em [17].

Em vez de iniciar o levantamento de requisitos diretamente através do diagrama de classe, o RUP sugere que esse levantamento seja iniciado através do diagrama de caso de uso. Procura-se determinar "o que" o sistema deve fazer. Nesse diagrama são identificados os atores, os casos de uso e os relacionamentos entre os casos de uso. Nesse ponto da modelagem, diagramas iniciais de Atividade podem ser criados para mostrar o fluxo através de casos de uso, ou dentro de um caso de uso em particular.

Ocorre que, na modelagem conceitual de BDG, inclusive pelo fato de poder utilizar-se padrões de análise, as principais classes, seus atributos e relacionamentos, inclusive os de generalização e especialização, já podem ser explicitados nas fases iniciais de modelagem. Nessa extensão proposta do GeoFrame, o conjunto de operações também já está identificado. Portanto, a metodologia do RUP pode ser melhor aproveitada se for utilizada em suas fases iniciais (elaboração de diagramas de caso de uso e diagramas iniciais de atividade) com o objetivo de identificar processos de análise geográfica e os componentes do BDG envolvidos na execução desses processos.

Para as fases seguintes de modelagem, utiliza-se a semântica introduzida na versão 2.0 da UML [13]. O elemento de modelagem "Atividade" (*Activity*), especialização de "Classe" no meta-modelo da UML, é definido como uma especificação de comportamento parametrizado. Portanto, uma "Atividade" pode ser tanto representada no diagrama de classe, como ter o seu comportamento detalhado no diagrama de atividade.

Através dessa semântica, a UML não suporta procedimentos somente como métodos em objetos, mas também independentes dos objetos. O uso dessa semântica pode ser considerado como análogo às bibliotecas de função, utilizadas freqüentemente em programação. [3]

O comportamento de uma "Atividade" é caracterizado como uma seqüência de unidades subordinadas onde cada elemento individual é uma "Ação" (*Action*). Uma "Ação" pode ser definida até no nível de detalhamento de uma linguagem de programação e é especializada em:

- Ação Computacional (*Computation Action*): transforma valores a partir da execução de uma função (ex: operação aritmética);
- Ação Ler Escrever (*Read Write Action*): acesso de leitura e escrita a objetos, variáveis, associações;
- Ação Invocação (*Invocation Action*): chama operações ligadas a comportamentos em geral (atividades, máquina de transição de estados), definidos pelo usuário.

Através de uma "Ação Invocação" do tipo *CallBehaviorAction* um comportamento (que pode ser modelado como uma "Atividade") pode ser executado. Nesse caso, o nome da "Ação" é o mesmo da "Atividade" que está sendo chamada para execução.

O fluxo de execução é modelado como nós de atividade (*activity nodes*) conectados por arcos de atividade (*ActivityEdge*). Os nós podem comportar ações, objetos e estruturas de controle (ex: decisão, junção). Os arcos orientados representam fluxos de controle e de objetos (*ControlFlow* e *ObjectFlow*).

Aplicando essa semântica na presente proposta de extensão, após ser identificado, um Processo de Análise Geográfica (PAG) deve ser modelado como uma classe do tipo "Atividade" e expresso no diagrama de classe. Essa classe possui associações com classes do modelo do usuário que fornecem parâmetros de entrada e, como resultado de sua instanciação, instancia classes geográficas ou não. No GeoFrame, classes desse tipo podem ser denominadas simplesmente como Processo.

O detalhamento do comportamento das classes inseridas como Processo no modelo do usuário, ocorre através do refinamento do diagrama de atividade. Nesse nível de detalhamento, já devem constar operações de análise geográfica. Assim como ocorre com um PAG definido pelo usuário, as operações do catálogo do GeoFrame devem ser modeladas como atividades. O comportamento delas, dentro de um diagrama de atividade, é invocado através de uma ação do tipo *CallBehaviorAction*, que recebe o mesmo nome da Atividade. Considerando que essas operações já encontram-se implementadas no *software* de SIG a ser utilizado para a execução do PAG, não há necessidade de detalhá-las.

Para que a estrutura original do *framework* GeoFrame não fosse afetada, as adaptações necessárias para possibilitar a modelagem de processos foram desenvolvidas em um novo pacote, denominado PGeoFrame-A, que também importa o pacote

PGeoFrame, conforme apresentado na Figura 3. Utilizando essa mesma lógica, o projetista que buscar representar aspectos temporais com o GeoFrame [18] pode utilizar o PGeoFrame-T. A utilização simultânea de processos e temporalidade no mesmo modelo é objeto de trabalhos futuros.

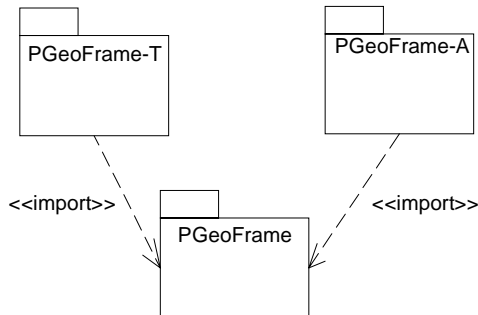


Figura 3 Pacotes GeoFrame incluindo PGeoFrame-A.

A classe Processo foi incorporada no pacote PGeoFrame-A. Essa classe possui associações com classes que fornecem parâmetros de entrada, assim como pode provocar a criação de novas instâncias de ObjetoNãoGeográfico e FenômenoGeográfico. A Figura 4 apresenta o diagrama de classes do pacote PGeoFrame-A. As classes ObjetoEspacial e RepresentaçãoCampo são especializadas em várias representações, omitidas na Figura 4. A relação dessas representações pode ser verificada na Figura 1.

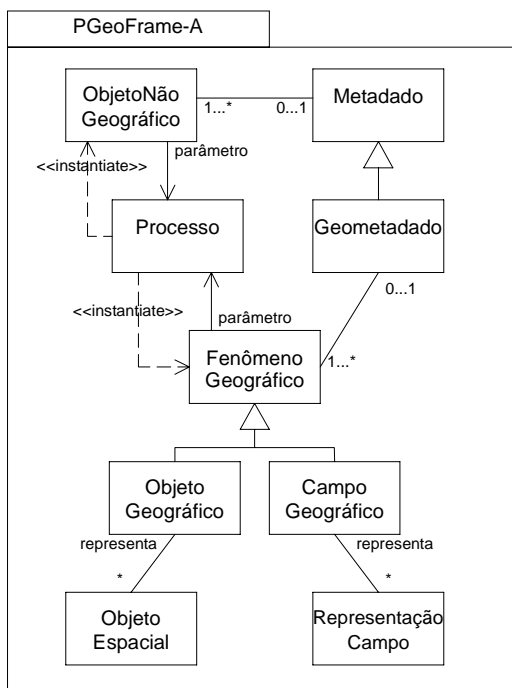


Figura 4 Diagrama de classes do pacote PGeoFrame-A.

5 Exemplo de Aplicação

Para ilustrar a aplicabilidade da metodologia proposta, foi desenvolvido um exemplo, na área de saneamento básico, o qual está exposto a seguir.

Um reservatório (ou conjunto de reservação) é o responsável pelo abastecimento de um sistema. Potenciais problemas de abastecimento podem ocorrer quando a pressão de água é muito baixa em determinadas regiões. Para simplificar esse exemplo, considera-se que o abastecimento de água é realizado através de tubulações regularmente distribuídas e com índices de perdas equivalentes, pode-se estimar que a cota da linha piezométrica é função da distância de um determinado local ao reservatório: quanto maior a distância, maior a perda de carga. A pressão de água é determinada pela diferença entre a cota da linha piezométrica e a cota do terreno.

Uma forma de obter-se uma visão geral do comportamento da pressão de água em um conjunto de sistemas de abastecimento é através da geração de um mapa que apresente o valor da pressão de água em cada ponto do sistema. Esse problema envolve componentes geográficos, portanto é passível de ser resolvido por um *software* de SIG. Em decorrência, o projeto conceitual pode ser desenvolvido utilizando-se os recursos do GeoFrame. Como claramente o aspecto mais crítico desse problema concentra-se na execução de um PAG, o pacote do GeoFrame indicado é o PGeoFrame-A.

O primeiro diagrama a ser desenvolvido, o de caso de uso, apresentado na Figura 5, mostra como a pressão de água depende dos valores de cota do terreno natural e da cota da linha piezométrica em cada ponto.

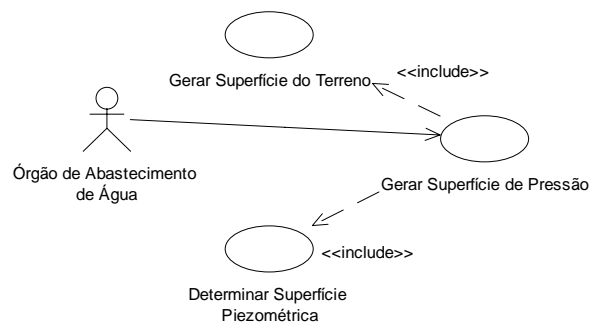


Figura 5 Diagrama inicial de caso de uso

Avaliando o diagrama de caso de uso, percebe-se que a geração das superfícies do terreno, piezométrica e a conseqüente geração da superfície de pressão podem ser consideradas como partes de um único PAG. Esse processo depende de algumas informações que possuem componente geográfico, no caso, altimetria, reservatórios e sistemas de abastecimento. A função de perda de carga é outro dado importante a ser informado no processo.

O desenvolvimento do diagrama de atividade (Figura 6) para o caso de uso "Gerar Superfície de

Pressão" já permite identificar os principais fluxos e dados envolvidos.

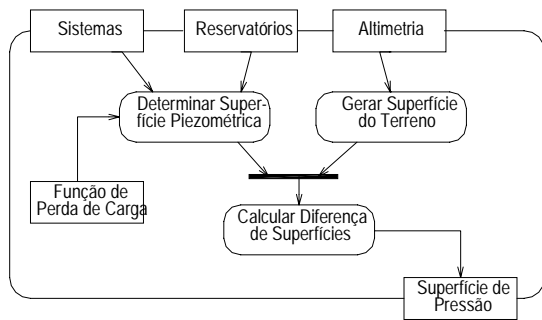


Figura 6 Diagrama inicial de atividade.

Com os principais objetos identificados, a fase seguinte é descobrir como se organizam em classes, como podem ser representados e como se associam.

Nesse exemplo, assume-se que o mapa digital de altimetria disponível exibe apenas curvas de nível, portanto, é fornecido na representação de isolinhas. Considerando que a área ocupada por um reservatório é irrelevante em relação à área do sistema de abastecimento, assume-se que basta uma representação de ponto para indicar a sua posição. Os limites entre os sistemas de abastecimento são determinados como polígonos. Entre reservatórios e sistemas de abastecimento há uma relação bem clara, pois um sistema de abastecimento contém o reservatório que é responsável pelo abastecimento daquela área. O PAG "Calcula Superfície Pressão" é modelado como uma classe do tipo Processo do PGeoFrame-A. O resultado desse processo é uma representação de grade de células que é instanciada na classe "Pressão de Água".

O diagrama de classe da Figura 7 formaliza a relação de todos os elementos que foram identificados.

Os pictogramas do GeoFrame indicam a representação espacial de cada classe, com exceção do pictograma que mostra uma engrenagem, que indica que a classe é do tipo Processo.

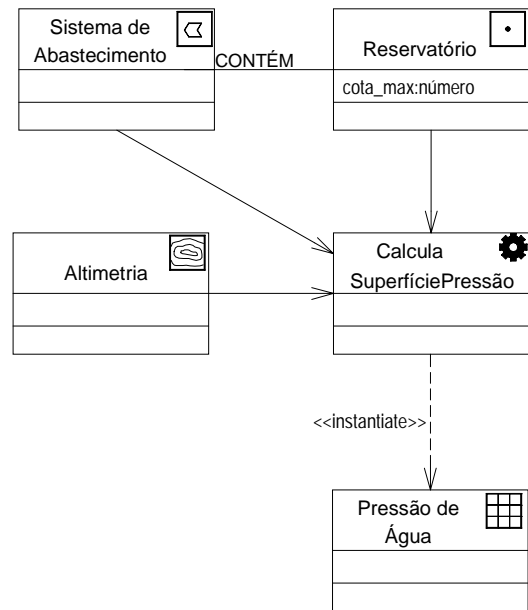


Figura 7 Diagrama de classe incorporando classe do tipo Processo.

A especificação interna do processo "Calcula Superfície Pressão" é apresentada na Figura 8 através de um diagrama de atividade.

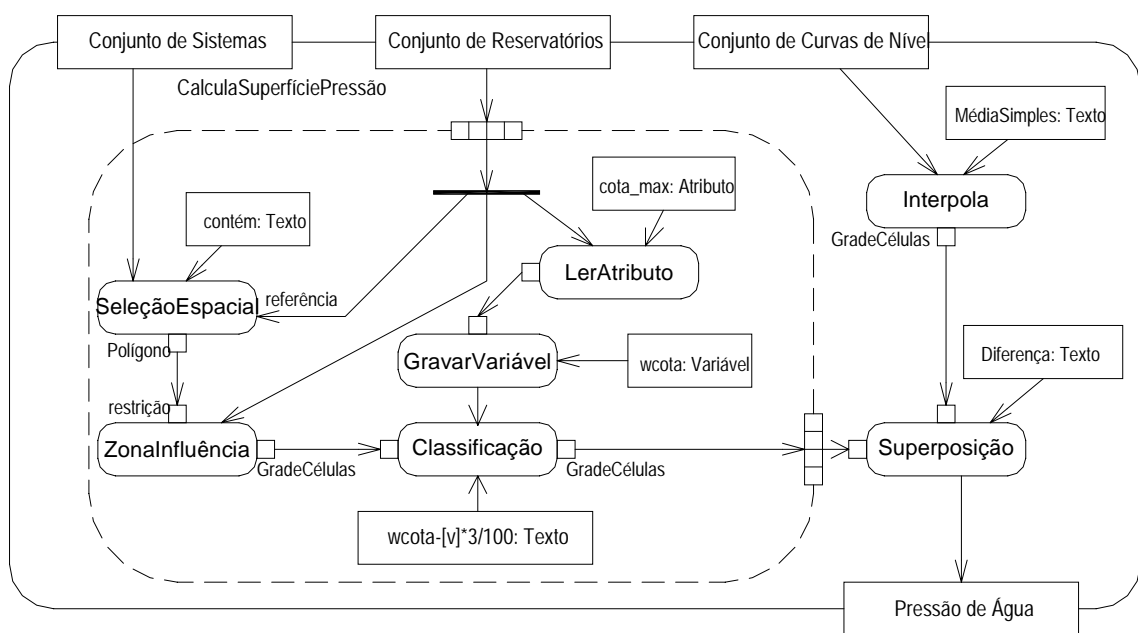


Figura 8 Diagrama de atividades contendo especificação interna de processo.

A relação entre reservatório e sistema de abastecimento pode ser obtida através da operação SeleçãoEspacial. A partir da localização de cada reservatório, determina-se uma superfície de distâncias onde o limite é representado pelo polígono do sistema de abastecimento (operação ZonaInfluência). A superfície de distâncias é reclassificada (operação Classificação) de tal forma que represente o valor da superfície piezométrica, tomando como parâmetros a cota do reservatório e um valor constante de perda de carga. Dessa forma, quanto mais distante estiver um determinado ponto do reservatório, menor será o valor da cota piezométrica. Essa parte do processo deve ser executada para todos os sistemas de abastecimento da cidade, unindo os resultados parciais em uma única superfície piezométrica.

A altimetria, apresentada como curvas de nível, necessita ser interpolada (operação Interpolação) para gerar uma grade de células contendo valores de altitude para cada célula. Pode-se indicar diversos métodos para essa interpolação, um deles é por Média Simples.

Os valores do campo geográfico que contém a superfície piezométrica podem subtrair os valores do campo geográfico que contém altitudes (operação Superposição, método "Diferença"). O resultado dessa operação corresponde ao resultado do processo, que é a superfície de Pressão de Água. O campo geográfico, representado por uma grade de células, deve ser instanciado na classe Pressão de Água, conforme previsto no diagrama de classes.

Nesse diagrama de atividade, pode-se verificar a aplicação dos seguintes elementos de modelagem descritos em [13]:

- atividade ("*Activity*"): representada como o polígono mais externo com cantos arredondados, organiza os nós de objeto que possuem parâmetros ao longo das bordas.
- nó de objeto ("*ObjectNode*"): corresponde aos dados utilizados no processo; representa objetos de classes do modelo do usuário (Conjunto de Sistemas, Conjunto de Reservatórios, Conjunto de Curvas de Nível), valores constantes, atributo e variável de memória.
- ação ("*Action*"): pode ser definida pelo usuário (tipo "*CallBehaviorAction*"), correspondendo à chamada de execução de comportamentos correspondentes ao catálogo de operações do GeoFrame (SeleçãoEspacial, ZonaInfluência, Classificação, Superposição, Interpola), ou ação primitiva da UML do tipo "*Read/Write Actions*" (LerAtributo, GravarVariável).
- fluxo de objeto ("*object flow*"): representado por um arco orientado entre um nó de objeto e uma ação, e entre pinos de saída e entrada de ações.

- pino ("*pin*"): representado explicitamente por quadrados ligados a um fluxo de dados entre ações.
- fluxo de controle ("*control flow*"): representado por um arco orientado ligando duas ações, sem passar por pinos. No exemplo, ocorre entre GravarVariável e Classificação.
- região de expansão ("*expansion region*"): representada como uma atividade em linha tracejada, é executada tantas vezes quanto for o número de elementos de uma coleção de entrada.
- nó de bifurcação ("*fork node*"): representado por uma linha espessa que divide um fluxo de dados.
- nó de expansão ("*expansion node*"): colocado na borda da região de expansão. O nó de entrada mantém um elemento em separado da coleção durante cada execução da região. O nó de saída aceita um elemento de cada execução da região, disponibilizando uma coleção quando a execução da região for completa.

Nesse exemplo, foram apresentadas as principais fases de um processo de modelagem. Deve-se considerar que, na prática, um processo de modelagem é cíclico, constituído de muitas "idas e vindas" entre as diversas fases. Portanto, é natural que, ao longo do processo, várias versões dos diagramas apresentados venham a ser construídas, até que seja alcançada a consistência desejada.

6 Conclusão e Trabalhos Futuros

Esse trabalho desenvolveu um modelo para especificar processos de análise geográfica onde foi explorada a compatibilidade com a linguagem UML. Essa compatibilidade permite que o usuário desenvolva os diagramas do modelo em uma ferramenta CASE. Essas ferramentas possibilitam, desde a construção do esquema do BDG, até a geração de código executável.

Como esse modelo é baseado em um *framework* conceitual, o GeoFrame, utiliza recursos já desenvolvidos de interesse para o domínio de aplicações geográficas.

O conjunto da solução apresentada foi incorporado no pacote PGeoFrame-A, que importa o conteúdo do *framework* original, o pacote PGeoFrame. De forma sintética, o usuário desse *framework* que optar por utilizar o PGeoFrame-A vai encontrar uma semântica que apóia a expressão de processos de análise geográfica, acompanhado de um catálogo de operações extensível.

Como possíveis trabalhos futuros, pode-se citar:

- geração automática de código a partir de esquemas UML-GeoFrame, utilizando bibliotecas de componentes com capacidade de execução de operações de análise geográfica;

- integração dos pacotes PGeoFrame-A e PGeoFrame-T;
- verificação da aplicabilidade de outros recursos introduzidos pela versão 2.0 da UML que acabaram não sendo utilizados nesse trabalho;
- organização de catálogos de Processos de Análise Geográfica, de forma análoga ao catálogo de padrões de análise do GeoFrame.

Referências

- [1] J. Albrecht, *Universelle GIS Operationen*. Vechta, Alemanha: Universidade de Vechta, 1995. Tese de Doutorado.
- [2] S. Aronoff, *Geographic Information Systems: a management perspective*. WDL Publications, Ottawa, 1989.
- [3] C. Bock. UML 2 Activity and Action Models. *Journal of Object Technology*, 2(4), 2003, 43--53.
- [4] G. Booch, J. Rumbaugh e I. Jacobson. *UML Guia do Usuário*. Campus, Rio de Janeiro, 2000.
- [5] G. Câmara et al. Towards a Unified Framework for Geographical Data Models. In *Proc. 2nd GEOINFO*, São Paulo, 2000, 37--44.
- [6] N. Chrisman. *Exploring Geographic Information Systems*. John Wiley & Sons, New York, 1997.
- [7] C. A. Davis Jr., A. H. F. Laender, Multiple representations in GIS: materialization through map generalization, geometric, and spatial analysis operations. In *Proc. 7th ACM GIS*, Kansas City, 1999, 60--65.
- [8] M. Goodchild, Geographical Data Modelling. In A. Frank, M. Goodchild, *Two Perspectives on Geographical Data Modelling*. NCGIA, Santa Barbara, 1990.
- [9] J. Lisboa Filho; C. Iochpe. Specifying analysis patterns for geographic databases on the basis of a conceptual framework. In *Proc. 7th ACM GIS*, Kansas City, 1999, 7--13.
- [10] J. Lisboa Filho; C. Iochpe. Um estudo sobre modelos conceituais de dados para projeto de bancos de dados geográficos. *Informática Pública*, 1(2), 1999, 67--90.
- [11] J. Lisboa Filho; C. Iochpe ; K. A. Borges. Analysis patterns for GIS data schema reuse on urban management applications. In *CLEI Electronic Journal*, v.5, n.2, 2002.
- [12] E. C. Lopes; S. Ulrich. Tryfona +: um framework estendido para modelar fenômenos espaço-temporais. In *Proc. 4th GEOINFO*, Caxambu, 2002, 41--48.
- [13] Object Management Group. *UML 2.0 SuperStructure Specification*. On-line: www.omg.org
- [14] Open GIS Consortium. *The OpenGIS abstract specification, topic 1: feature geometry*, version 5. 2001. On-line: www.ogc.org
- [15] F. Pires. *Um ambiente computacional para modelagem de aplicações ambientais*. Campinas: UNICAMP, 1997. Tese de Doutorado.
- [16] C. Ruschel. *Extensão do Framework GeoFrame para Processos de Análise Geográfica*. Porto Alegre: PPGC-UFRGS, 2003. Dissertação de Mestrado.
- [17] T. Quatrani. *Modelagem Visual com Rational Rose e UML*. Ciência Moderna, Rio de Janeiro, 2001.
- [18] L. V. Rocha, N. Edelweiss, C. Iochpe. GeoFrame-T: A Temporal Conceptual Framework for Data Modeling. In *Proc. 9th ACM GIS*, Atlanta, 2001, 124--129.
- [19] C. D. Tomlin. Cartographic Modelling. In: D. Maguire et. al. *Geographical Information Systems*. Longman, 1991, 362--374.