

TerraMAP: Uma Álgebra de Mapas Genérica Baseada em Predicados Espaciais

Danilo Palomo

Gilberto Câmara
(orientador)

Ricardo Cartaxo Souza

Olga Oliveira

*Divisão de
Processamento de
Imagens – Instituto
Nacional de Pesquisas
Espaciais (INPE)
São José dos Campos –
SP – Brasil*

*Divisão de
Processamento de
Imagens – Instituto
Nacional de Pesquisas
Espaciais (INPE)
São José dos Campos –
SP – Brasil*

*Divisão de
Processamento de
Imagens – Instituto
Nacional de Pesquisas
Espaciais (INPE)
São José dos Campos –
SP – Brasil*

*Divisão de
Processamento de
Imagens – Instituto
Nacional de Pesquisas
Espaciais (INPE)
São José dos Campos –
SP – Brasil*

danilo@dpi.inpe.br

gilberto@dpi.inpe.br

cartaxo@dpi.inpe.br

olga@dpi.inpe.br

Resumo

Este artigo descreve o projeto de um conjunto geral de operações de álgebra de mapas. Esta proposta generaliza a álgebra de mapas de Tomlin por incorporar os predicados espaciais topológicos e direcionais. O artigo também descreve a linguagem TerraMAP, que disponibiliza um conjunto geral de operações para álgebra de mapas. Nós argumentamos que TerraMAP é uma linguagem de álgebra de mapas mais geral e completa do que outras propostas na literatura de geoinformação.

Palavras-chave: *álgebra de mapas, predicados semânticos espaciais*

1. Introdução

O termo “Álgebra de Mapas” denota um conjunto de operações sobre dados geográficos, que se referem a um conjunto de objetos que compõem uma região de estudo. Estas operações são aplicadas a todos os elementos do conjunto e incluem procedimentos como sobreposição e reclassificação. As operações de Álgebra de Mapas permitem ao usuário modelar diferentes problemas e obter novas informações, a partir de um conjunto de dados já existentes. Por analogia com operações de superposição manual de mapas em papel [12], o termo tornou-se uso corrente no ambiente de

geoinformação. Diferentes operações em mapas foram propostas na literatura [1] [9] [10] [11] [7].

A principal contribuição para a Álgebra de Mapas é o trabalho de Tomlin [15] cuja taxonomia de operações inclui três tipos. As operações locais envolvem valores de localizações correspondentes em diferentes mapas. Por exemplo, “*classifique como alto risco todas as áreas sem vegetação com declividade maior que 15%*”. As operações focais ou de vizinhança envolvem os valores de localizações próximas no mesmo mapa. Por exemplo, “*calcule a média local dos valores do mapa*”. As operações zonais envolvem os valores de localizações de um mapa contidas em zonas definidas em outro mapa. Por exemplo, “*dados um mapa de cidades e um de altimetria, calcule a altitude média de cada cidade.*” Na grande maioria dos SIG, as operações disponíveis para álgebra de mapas são as projetadas por Tomlin.

Um dos grandes desafios em aberto na ciência da geoinformação é determinar até que ponto as operações propostas por Tomlin são genéricas. Essas definições são empíricas e nasceram da experiência do autor, que depois se verificou serem de utilidade prática. No entanto, permanece a questão: Qual seria o conjunto completo de operações de Álgebra de Mapas? É possível definir este conjunto partindo de considerações conceituais de ciência da geoinformação?

Ao analisar a Álgebra de Mapas de Tomlin, verificamos o caráter arbitrário das operações propostas. Na operação focal, a função de vizinhança

está restrita as funções de adjacência. As operações zonais são restritas à condição de pertinência topológica. Considerando essas limitações e analisando-se o conjunto de predicados semânticos espaciais disponíveis, pode-se mostrar que as operações de Tomlin não são as únicas possíveis de serem realizadas e, portanto, são apenas um subconjunto restrito de todas as possíveis operações sobre mapas.

Com esta motivação, este trabalho apresenta um conjunto genérico de operações sobre mapas e uma nova linguagem associada a estas operações. A linguagem é chamada TerraMAP, por ter sido seu desenvolvimento associado com a biblioteca de código aberto TerraLib [4]. Sua definição, no entanto, é genérica e não restrita ao ambiente da TerraLib.

2. Predicados semânticos espaciais e álgebra de mapas

A concepção deste artigo é que uma álgebra de mapas genérica deveria ser baseada nos predicados topológicos e direcionais já estabelecidos na literatura de geoinformação. A partir destes predicados, projetamos as operações. Mostramos ainda como a proposta de Tomlin é um caso particular destas operações. Para tanto, partimos de uma revisão dos predicados semânticos espaciais existentes na literatura e as operações da álgebra de mapas de Tomlin.

2.1. Predicados semânticos espaciais

Para a determinação dos relacionamentos topológicos entre elementos, o modelo apresentado em [6] e depois refinado em [5], conhecido como Matriz de 9-Interseções, permite a identificação de 512 relacionamentos, dos quais em \mathbb{R}^2 podemos identificar 8 predicados possíveis de serem realizados entre regiões: 'disjoint', 'equal', 'meet', 'overlap', 'contains', 'inside', 'covers', 'covered by' (Figura 1), 33 entre linhas e 19 entre regiões simples e linhas, 2 entre pontos e 3 entre pontos e linhas e regiões.

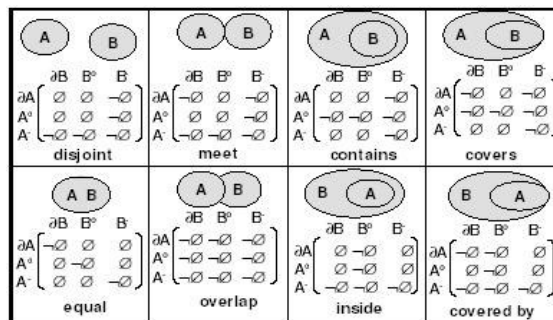


Figura 1. Predicados topológicos. Fonte: adaptado de Egenhofer [6]

No caso do relacionamento direcional, os predicados: 'north', 'south', 'east', 'west', 'northwest', 'northeast', 'southeast', 'southwest' (Figura 2) são apresentados em [16] aplicados a geometrias matriciais e em [13] aplicados a geometrias vetoriais.

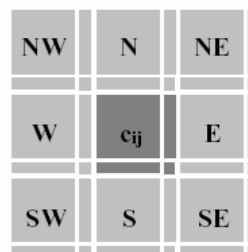


Figura 2. Predicados direcionais. Fonte: [13]

A identificação do relacionamento topológico entre dois elementos, através da utilização do modelo de 9-interseções abrange todos os possíveis relacionamentos topológicos [6]. A identificação do relacionamento direcional através do modelo apresentado acima abrange um conjunto abrangente de relacionamentos direcionais.

2.2. Álgebra de mapas: breve descrição

A principal contribuição para a álgebra de mapas vem do trabalho de Tomlin [15]. A sua definição de operações é seguida na grande maioria dos ambientes que implementam álgebra de mapas, tais como GRID, utilizada no ArcGIS [8], LEGAL [2] utilizada no SPRING [3] e MapScript [14]. Suas operações são de três tipos:

- **Operação local:** o novo valor é calculado como uma função especificada a partir dos valores de localizações presentes em dois ou mais mapas existentes (Figura 3). Dentre os operadores locais estão funções como as expressões matemáticas e lógicas.

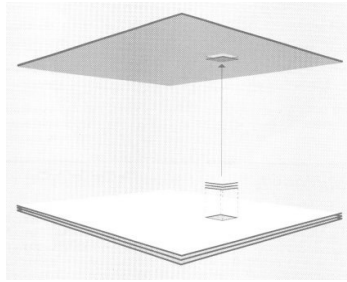


Figura 3. Operação local

- **Operação focal:** o novo valor é calculado como uma função aplicada aos valores dos vizinhos da localização de saída (Figura 4). Os operadores focais incluem funções como a média local.

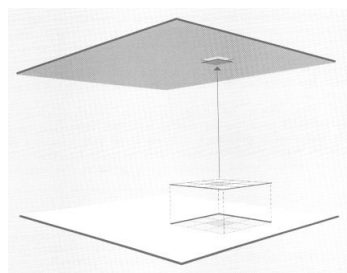


Figura 4. Operação focal

- **Operação zonal:** o novo valor é calculado como uma função aplicada aos valores contidos em uma zona, definida em outro mapa (Figura 5).

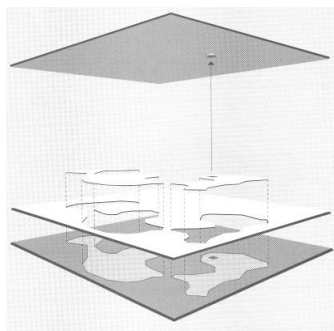


Figura 5. Operação zonal

Como podemos observar, a utilização de relacionamentos espaciais se dá nas operações focal e zonal. Na operação focal, a função de vizinhança está restrita a função de *adjacência*, ou seja, a utilização do predicado *meet* e na operação zonal, a função está restrita à *contingência topológica*, ou seja, a utilização do predicado *inside*. Dentre todos os possíveis predicados semânticos espaciais propostos na literatura, as operações de Tomlin [15] se utilizam apenas de alguns deles e de uma forma restritiva em cada uma de suas operações, ou seja, a álgebra de Tomlin não é completa em relação aos predicados topológicos e direcionais.

3. Projeto de uma álgebra de mapas genérica

Esta seção apresenta uma álgebra de mapas que generaliza as idéias de Tomlin, para incluir os predicados topológicos e direcionais.

3.1. Operações da álgebra de mapas genérica

Essa álgebra de mapas genérica tem um conjunto de operações locais, semelhantes às de Tomlin, uma função de seleção que utiliza os predicados semânticos e uma operação de vizinhança.

- **Operação local:** sua especificação segue a especificação da operação local de Tomlin [15].
- A função **seleção** aplica um predicado semântico espacial, gerando para cada elemento um subconjunto dos elementos que satisfazem o predicado.
- **Operação de vizinhança:** o novo valor de saída é calculado como uma função, aplicada aos valores dos elementos do conjunto, associado ao elemento de saída pela aplicação da função seleção (Figura 6).

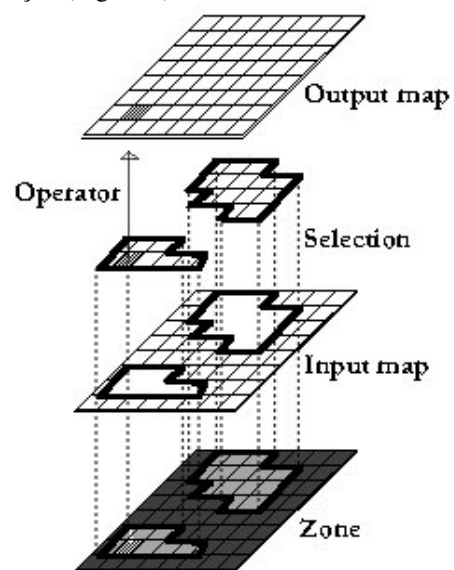


Figura 6. Operação de vizinhança

A função de seleção permite a utilização de todos os predicados semânticos na seleção dos elementos de interesse. Esta função engloba o conceito das funções de seleção das operações local e zonal. Pode ser aplicada a um mesmo mapa ou a um outro mapa. Isso possibilita que operação de vizinhança generalize as operações focais e zonais de Tomlin.

4. A linguagem TerraMAP

Nesta seção mostraremos como uma linguagem TerraMAP foi desenvolvida para realizar as funcionalidades da álgebra de mapas genérica descrita na seção 3.

4.1. Operações

As operações em TerraMAP são realizadas através da operação local e da operação de vizinhança. As funções e operações de TerraMAP fazem referência a todos os elementos do mapa sem a necessidade de “do loops” explícitos.

- (a) **Operação local:** gera o novo valor a partir da aplicação do operador escolhido pelo usuário, nos valores dos elementos dos mapas de entrada que se encontram sobre o elemento de saída.

Os possíveis operadores são:

- **Operadores Matemáticos:** log, exp; sin, cosine, tan, arcsin, arccosine, arctan, sinh, cosineh, tanh, arcsinh, arccosineh, arctanh; sqrt, power; mod, ceiling, floor
- **Operador lógico:** not
- **Operadores sobre múltiplos valores:** sum, product, and, or, maximum, minimum, mean, median, variety, majority, minority, count; percentage, percentile, ranking

A sua sintaxe é mostrada na Figura 7.

```
mapa_saida := operador_local
             (lista_de_mapas);
```

Figura 7. Sintaxe da operação local

onde mapa_saida representa o mapa de saída a ser preenchido com os novos valores, operador_local representa um dos operadores apresentados acima e lista_de_mapas representa a lista de mapas de entrada.

- (b) A função *seleção* toma o elemento do mapa de referência, o qual o elemento de saída está associado. Aplica-se então o predicado de seleção aos elementos do mapa de entrada; os valores dos elementos que satisfizerem o predicado farão parte do conjunto de valores associado ao elemento de saída (Figura 8).

Os predicados semânticos disponíveis para a linguagem são:

- **Predicados topológicos:** disjoint, meet, inside, overlap, covers, equal, intersects

- **Predicados direcionais:** north, south, east, west, northwest, northeast, southeast, southwest, left, right, below, above.

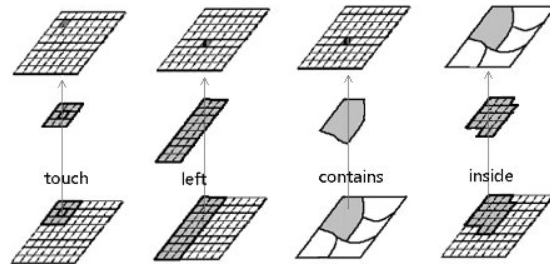


Figura 8. Exemplo da aplicação de alguns predicados espaciais

- (c) **Operação de vizinhança:** aplica-se o operador escolhido pelo usuário ao seu conjunto de valores associado, gerando o novo valor a ser atribuído. Os operadores são:

- sum, product, and, or, maximum, minimum, mean, median, variety, majority, minority, count, percentage, percentile, ranking.

A sua sintaxe é apresentada na Figura 9.

```
mapa_saida:= operador_sobre_vizinhanca
             ( mapa_entrada predicado_selecao
               mapa_referencia );
```

Figura 9. Sintaxe da operação de vizinhança

onde mapa_saida representa o mapa de saída a ser preenchido com os novos valores; operador_sobre_vizinhanca representa um dos operadores explicados acima; mapa_entrada representa o mapa de qual os valores que formarão o conjunto serão tomados; predicado_selecao representa os predicados de seleção; e mapa_referencia representa o mapa tomado como referência na aplicação do predicado.

5. Exemplos

Por simplicidade, consideramos que os problemas modelados através da operação local são equivalentes na TerraMAP e na álgebra de Tomlin. No que segue, daremos um exemplo de operação focal e zonal e um exemplo adicional.

5.1. Exemplo de operação focal

Considere o problema: “Dado um mapa de desmatamento, deseja-se saber quais são os pontos de maior concentração.” Para isto, tomamos uma

soma local dos dados de desmatamento (Figura 10). Considerando o mapa de desmatamento como entrada (`desm`) e o mapa de concentração como saída (`conc`), o comando em TerraMAP é:

```
conc := sum ( desm touch conc );
```

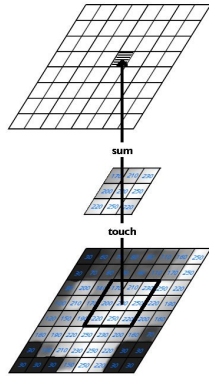


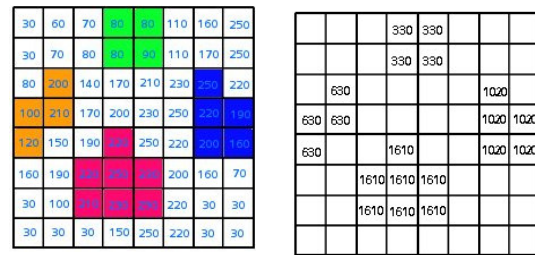
Figura 10. Cálculo dos pontos de concentração de desmatamento

Note-se um aspecto da linguagem: o mapa de concentração (`conc`), onde é armazenado o resultado da operação é também usado como restrição topológica (`desm touch conc`). Esta sintaxe pode parecer paradoxal. No entanto, esta estrutura decorre do caráter flexível e genérico da TerraMAP. Ao utilizarmos o mapa `conc` como restrição de `conc`, estamos restringindo a operação topológica. Se assim não fosse, o interpretador não teria como calcular corretamente os valores de saída. No lugar do mapa de concentração, poderíamos ter qualquer outro mapa como restrição do predicado `touch`, que tivesse a mesma resolução espacial de `conc`.

5.2. Exemplo de operação zonal

Um exemplo de operação zonal é: “Qual a soma dos desmatamentos nas áreas indígenas?”. Para isso, tomando o mapa das áreas indígenas (`ind`) e o mapa de desmatamento (`desm`). Para sua resolução devemos selecionar os elementos do desmatamento que estão dentro das áreas indígenas utilizando o predicado de seleção `inside` e realizar a soma dos valores associados (Figura 11). O comando em TerraMAP é:

```
desmInd := sum ( desm inside ind );
```



Mapas de desmatamento (grade) e áreas indígenas (áreas em cor)
Resultado da operação (desmInd)

Figura 11. Cálculo do desmatamento em áreas indígenas

5.3. Operações não previstas por Tomlin

As duas seções anteriores mostraram como os predicados semânticos da TerraMAP permitem construir todas as operações previstas por Tomlin. Nesta seção, apresentamos um exemplo que não pode ser realizada através da álgebra de mapas de Tomlin. Consideramos o problema: “Dada uma estrada (BR-163) e um mapa de desmatamento, desejamos calcular a média do desmatamento ao longo da BR-163”. Temos como entrada o mapa da BR-163 (`road`) e o de desmatamento (`desm`). Para a resolução desse problema com o TerraMAP, devemos realizar a seleção utilizando o predicado `intersects` e por fim proceder à soma dos valores. Esses passos são ilustrados na Figura 12. Ficando o comando da seguinte forma:

```
desmRoad := mean ( desm intersects road );
```

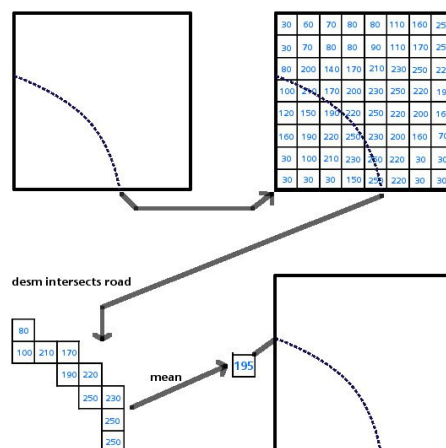


Figura 12. Cálculo da média do desmatamento ao longo da BR-163

6. Conclusões

Este artigo mostra que é possível definir uma Álgebra de Mapas genérica que utilize os predicados espaciais estabelecidos e que englobe as operações de Tomlin [15] como um caso particular. Disto concluímos que a proposta de Tomlin pode ser generalizada. O artigo apresenta uma linguagem (TerraMAP) que expressa uma álgebra de mapas genérica baseada em duas operações (local e vizinhança) e um predicado (seleção). Com os exemplos da seção 5, mostramos o maior poder expressivo da TerraMAP frente à proposta de Tomlin. Concluímos que é possível a construção uma álgebra de mapas que utilize os predicados semânticos espaciais, para generalizar as operações de Tomlin, com maior poder expressividade que as demais linguagens de álgebra de mapas.

7. Referências

- [1] Berry, J.K., "Fundamental Operations in Computer-Assisted Map Analysis", International Journal of Geographical Information Systems, 1 1987 119–136.
- [2] Câmara, G. *Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, 1995.
- [3] Câmara, G., Souza, R., Freitas, U., Garrido, J., "SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS with Object-Oriented Data Modelling", Computers and Graphics, 15 1996 13-22.
- [4] Câmara, G., Souza, R., Pedrosa, B., Vinhas, L., Monteiro, A.M., Paiva, J., Carvalho, M.T., Gattass, M. *TerraLib: Technology in Support of GIS Innovation*. In: II Brazilian Symposium on Geoinformatics, GeoInfo2000. São Paulo, 2000.
- [5] Clementini, E., Di Felice, P., "A Model for Representing Topological Relationships Between Complex Geometric Features in Spatial Databases", Information Sciences, 90 1996 121-136.
- [6] Egenhofer, M., Herring, J. *Categorizing Binary Topological Relationships Between Regions, Lines, and Points in Geographic Databases*. Department of Surveying Engineering, University of Maine, Orono, ME, 1991.
- [7] Erwig, M., Schneider, M. *Partition and Conquer*. In: 3rd Int. Conf. on Spatial Information Theory (COSIT 97). Lecture Notes in Computer Science 1329. Springer, Berlin, 1997. 389–408.
- [8] ESRI. *ARC GIS Manual: GRID*, Redlands, CA, 2000.
- [9] Frank, A. *Overlay Processing in Spatial Information Systems*. In: Chrisman, N.R.(ed.): AUTO-CARTO 8, Eighth International Symposium on Computer-Assisted Cartography, Baltimore, MD 1987 16-31.
- [10] Güting, R. *Geo-Relational Algebra: A Model and Query Language for Geometric Database Systems*. In: Schmidt, J., Ceri, S., Missikoff, M.(ed.): Advances in Database Technology—EDBT '88 International Conference on Extending Database Technology, Venice, Italy. Springer-Verlag, New York, NY 1988 506-527.
- [11] Huang, Z., Svensson, P., Hauska, H. *Solving Spatial Analysis Problems with GeoSAL, a Spatial Query Language*. In: 6th Int. Working Conf. on Scientific and Statistical Database Management. 1992.
- [12] McHarg, I.L. *Design with nature*. Natural History Press, Garden City, N.Y., 1969.
- [13] Papadias, D., Egenhofer, M., "Hierarchical Spatial Reasoning about Direction Relations", GeoInformatica, 1 1997 251-273.
- [14] Pullar, D., "MapScript: A Map Algebra Programming Language Incorporating Neighborhood Analysis", GeoInformatica, 5 2001 145-163.
- [15] Tomlin, C.D. *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1990.
- [16] Winter, S., Frank, A., "Topology in Raster and Vector Representaion", GeoInformatica 2000.