

4 Modelos espaço-temporais

*Taciana de Lemos Dias
Gilberto Câmara
Clodoveu A. Davis Jr.*

4.1 Introdução

Este capítulo apresenta recentes estudos de *modelos espaço-temporais*, correspondentes as iniciativas para modelar o comportamento de objetos em sua trajetória espaço-temporal, visando sua representação em um sistema de informação.

A maioria das aplicações de tecnologia de geoinformação utiliza representações estáticas de fenômenos espaciais. Isto se deve ao fato de que a principal abstração utilizada em Sistemas de Informação Geográficas (SIG) é o mapa. No entanto, um significativo conjunto de fenômenos espaciais, como o cadastro urbano, uso e ocupação da terra, fluxos hidrológico e poluição são inerentemente dinâmicos e as representações estáticas comumente utilizadas não os capturam de forma adequada. Deste modo, um dos grandes desafios da geoinformação é o desenvolvimento de *modelos espaço-temporais*, que sejam capazes de representar adequadamente fenômenos que variam tanto no espaço como no tempo.

Modelos espaço-temporais reúnem dois aspectos distintos: a escolha de conceitos adequados do espaço e do tempo e a construção de representações computacionais apropriadas correspondentes a esses conceitos. No caso das representações espaciais estáticas, os Capítulos 1 e 3 apresentam as diversas alternativas existentes, juntamente com detalhes de implementação e de modelagem de aplicações. Neste capítulo, damos

ênfase à representação temporal e à construção de modelos semânticos apropriados ao tratamento de mudanças espaço-temporais.

A visão do espaço (do grego *choros*) e do tempo (*chronos*) é uma experiência subjetiva do ser humano. O espaço e o tempo se misturam ao se descrever uma realidade (Kavouras, 2001). Podemos modelar a superfície da terra usando geo-objetos, correspondentes a parcelas do solo, ou usando geo-campos, indicando a variação espacial da vegetação da mesma área. Geo-objetos podem ser estáticos, como uma montanha; mudar de lugar, como o traçado de uma linha férrea, ou se movimentar, como um carro (Frank, 1997). Conforme a semântica associada ao geo-objeto, suas características espaciais (incluindo forma geométrica e localização) e não espaciais (atributos alfanuméricos) podem sofrer alterações ao longo do tempo.

Para produzir uma representação do mundo real com o objetivo de elaborar um sistema de informação espaço-temporal muitas questões precisam ser investigadas e respondidas (Cheylan, 2001). Essas questões envolvem a visão de mundo inerente ao sistema, as regras aplicáveis, o comportamento dos objetos ao longo do tempo, a interpretação da variação do tempo, a natureza das mudanças e a influência dos processos de medida. Por este motivo, o uso de ontologias para modelagem espaço-temporal é um dos principais temas de pesquisa nessa área atualmente (Worboys e Duckhan, 2004) (Grenon e Smith, 2003). Os conceitos envolvidos não são óbvios e têm se mostrado de difícil formalização (Smith e Mark, 1998) (Frank, 2003) (Fonseca et al., 2002) (Fonseca, et al., 2003). Em particular quando lidam com aspectos espaciais e temporais simultaneamente, ontologias buscam capturar as propriedades dos objetos e os conceitos que determinam sob que condições eles são criados ou deixam de existir, e quais mudanças podem ocorrer em suas características (Grenon e Smith, 2003). Uma ontologia deve incluir categorias de espaço e tempo, além dos conceitos ligados ao histórico dos objetos e às intenções de mudança. Ontologias espaço-temporais representam um conjunto de conceitos que lidam com a natureza do espaço, do tempo e das interações espaço-temporais (Peuquet, 2001).

Ainda não existe um consenso sobre as técnicas de modelagem de dados espaço-temporais, ou mesmo sobre extensões das técnicas de modelagem de dados geográficos atualmente existentes para refletir as necessidades de aplicações que envolvam simultaneamente tempo e espaço. Optamos por apresentar alternativas de representação específicas, deixando a cargo do leitor a escolha do(s) modelo(s) que melhor se ajusta(m) às suas necessidades.

4.2 Representação do tempo

Uma representação temporal considera os aspectos de *ordem*, *variação* e *granularidade* (Edelweiss e Oliveira, 1994) que serão analisados a seguir.

4.2.1 Ordem

Quanto à ordem, o tempo pode ser consecutivo e linearmente ordenado, ramificado ou circular (Worboys e Duckhan, 2004). O tempo linearmente ordenado possui uma ordenação entre quaisquer dois pontos: se t e t' são dois pontos diferentes no tempo, e “ $<$ ” é o operador de ordem de precedência temporal, apenas uma das expressões é verdadeira: (1) $t < t'$ ou (2) $t' < t$ (Figura 4.1).

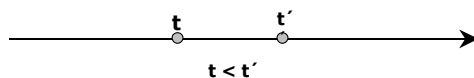


Figura 4.1 – Tempo consecutivo e linearmente ordenado .

O tempo ramificado implica na possibilidade de existência de diferentes histórias futuras ou passadas. Podem existir várias versões do passado correspondentes a uma situação do presente, ou existir vários cenários para uma situação futura (Figura 4.2).

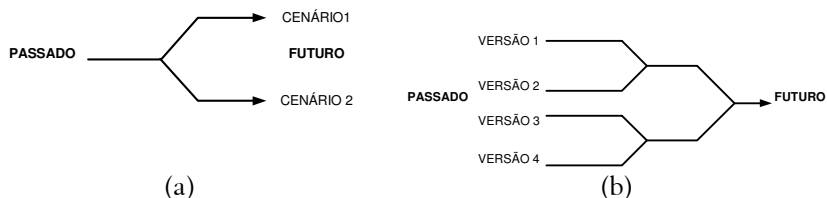


Figura 4.2 – Tempo ramificado (Fonte: adaptado de Worboys e Duckhan , 2004).

O tempo ramificado no futuro possui diferentes sucessores (Figura 4.2 a), e ramificado no passado possui diferentes antecessores (Figura 4.2 b). A maioria das representações da realidade utiliza um passado linear e um futuro ramificado (Edelweiss e Oliveira, 1994).

Eventos recorrentes são representados pelo tempo *circular*. Neste caso, a periodicidade de sua ocorrência faz com que sempre se volte à mesma referência de tempo. Um exemplo é o ciclo anual de produção de mudas de plantas como mostra a Figura 4.3.

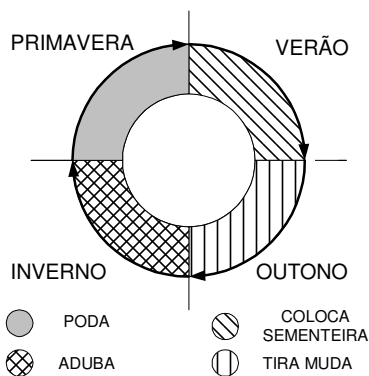


Figura 4.3 – Tempo circular.

4.2.2 Variação

Quanto à variação, o tempo pode ser *contínuo* ou *discreto*. Entendemos, em geral, que o tempo é contínuo por natureza. Para sua representação computacional, é necessário utilizar uma representação discreta do tempo, na qual a variação temporal corresponde a uma linha de tempo, composta por uma seqüência de *chronons* consecutivos e com idêntica duração. Um *chronon* é um intervalo temporal que não pode ser decomposto. Ele é considerado a menor unidade de duração do tempo de um sistema. A duração de tempo pode ser fixa, como uma hora, ou variável, como um mês (Figura 4.4).

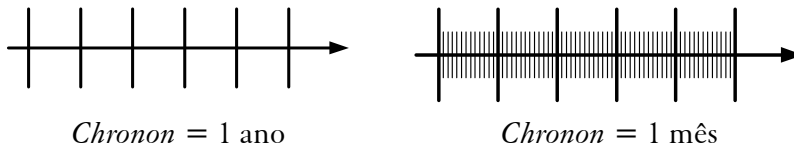


Figura 4.4 – Diferentes granularidades temporais.

Um *eixo temporal* é uma seqüência de pontos consecutivos com tempo de variação discreto, linear e finito. A variação do tempo discreto é classificada como *ponto-a-ponto*, *escada* e *função* (Renolen, 1997). A *variação ponto-a-ponto* considera valores válidos do tempo somente nos pontos temporais definidos. Na *variação escada*, o valor válido do tempo ocorre desde o momento de sua definição até o momento em que outro valor é definido. A variação do tempo discreto pode ser determinada por uma função de interpolação para determinar valores em pontos onde não se tem valor, configurando a *variação por função*. Esses tipos de variações são mostradas na Figura 4.5.

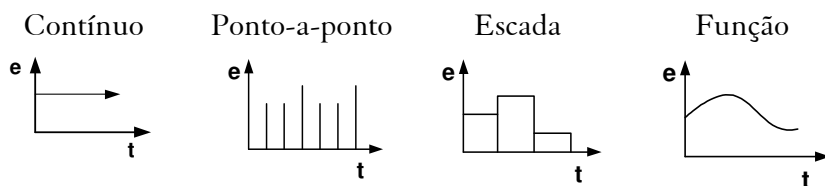


Figura 4.5 – Variação do tempo contínuo e discreto.

4.2.3 Granularidade

A *granularidade temporal* é um parâmetro que corresponde à duração de um *chronon*. Pode-se considerar, simultaneamente, diferentes granularidades (ano, mês, dia e minuto), para possibilitar uma melhor representação da realidade. Pesquisas de opinião, por exemplo, podem ser realizadas anualmente ou mensalmente (Edelweiss e Oliveira, 1994), porém esperamos obter uma representação mais fiel ao fenômeno real com a granularidade mensal.

Os elementos primitivos de representação da granularidade do tempo são *instante*, *intervalo* e *elemento temporal*. A granularidade depende da variação do tempo considerada. Para o tempo continuamente variável, um *instante* é um ponto no tempo cuja duração é infinitesimal, sendo que entre dois pontos no tempo sempre existirá outro ponto. Se a variação de tempo for discreta, um instante é representado por um *chronon* no eixo temporal. Um *intervalo* é um subconjunto de pontos do eixo temporal equivalente ao tempo decorrido entre dois pontos. Considerando o tempo discreto, o intervalo é representado por um conjunto finito de *chronons* consecutivos; no caso de tempo contínuo, existem infinitos instantes de tempo em um intervalo. Um *elemento temporal* é a união finita de intervalos de tempo, produzindo um novo elemento temporal para as operações de conjunto de união, interseção e complemento (Langran, 1993).

O tempo pode ainda ser *absoluto* ou *relativo*. O tempo absoluto está associado a um fato com granularidade definida. O tempo é considerado relativo quando se refere à validade de outro fato. A definição do tempo pode também ser *explícita* ou *implícita*. Ela é explicitada através de um

rótulo temporal (*timestamp*) associado a cada valor de atributo de um objeto. A definição de tempo é necessária para utilização de uma linguagem de lógica temporal implícita, como no caso do tempo relativo (Edelweiss e Oliveira, 1994).

4.3 Dimensão temporal

A dimensão temporal determina as representações de tempo num banco de dados. Essas dimensões auxiliam na definição da composição histórica do geo-objeto. Uma análise de dados espaço-temporais requer uma distinção entre o momento em que o evento ocorreu, conforme a representação adotada (*tempo de validade*), e o momento em que essa ocorrência foi registrada no banco de dados (*tempo de transação*), que indica a partir de quando a informação correspondente ao evento se tornou disponível para o usuário. Por motivos diferentes, é importante, por exemplo, saber quando dados que indicam a possibilidade de um desastre foram inseridos no banco de dados e quando eles foram coletados ou identificados em campo. As informações temporais, nesse caso, permitem analisar se dados que indicam um possível desastre foram identificadas e/ou registrados no banco de dados em tempo de apoiar o processo de tomada de decisão.

4.3.1 Tempo em bancos de dados

Os SGBD podem ser classificados, (Tabela 4.1), de acordo com seu suporte à dimensão temporal (Worboys e Duckhan, 2004) (Snodgrass, 1992). Eles podem ser *estáticos (instantâneos)*, *de tempo de validade (históricos)*, *de tempo de transação (rollback)* e *bitemporais* (Snodgrass, 1990) (Al-Taha e Barrera, 1994) (Edelweiss e Oliveira, 1994).

Um *SGBD estático* é também denominado *banco de dados de instantâneos*, por não suportar nenhuma dimensão temporal. Neste caso, o SGBD suporta um único estado, o mais recente, e não é possível realizar comparações entre estados. Um *SGBD de tempo de validade* registra fatos de acordo com o tempo de ocorrência do evento, e possibilita uma recuperação de histórico. Não é possível recuperar o instante em que os dados foram inseridos no banco de dados. Um *SGBD de tempo de transação* registra o instante da inserção de dados no banco,

possibilitando uma recuperação de dados para desfazer uma transação (*rollback*). No entanto, não realiza o registro de quando o fato ocorreu. Um SGBD *bitemporal* registra tanto o tempo de validade quanto o de transação, sem qualquer interação entre eles, não sendo possível uma “atualização do passado”. É possível acessar o histórico das transações realizadas e da ocorrência dos eventos.

O tempo pode ser associado a cada valor no banco de dados. O tempo de validade pode ser representado em um banco de dados temporal por um ponto no tempo e com variação por escada ou intervalo de tempo. O tempo de transação é representado por um *chronon* único.

Tabela 4.1 – Classificação de SGBD de acordo com a dimensão temporal
(Fonte: adaptado de Snodgrass, 1992).

	Sem tempo de Transação	Com tempo de Transação
<i>Sem tempo de Validade</i>	Banco de dados estático	Banco de dados por tempo de transação
<i>Com tempo de Validade</i>	Banco de dados por tempo de validade	Banco de dados bitemporal

Worboys (1998) propôs um modelo conceitual para objetos espaço-temporais denominado *complexo espaço-bitemporal*. Este complexo é resultante da composição de classes primitivas de geo-objetos com os componentes temporais dos geo-objetos. O componente temporal é dado por uma estrutura, denominada *elemento bitemporal* (BTE), cuja semântica representa simultaneamente o geo-objeto de acordo com o tempo de validade do evento e com o tempo de transação do banco de dados (Figura 4.6). Um BTE é a união de um conjunto finito de produtos cartesianos ($I_D \times I_E$) de intervalos de tempo de banco de dados (I_D) e de *chronons* de evento (I_E), assumindo que o domínio temporal contém elementos de $-\infty$ a $+\infty$, representando desde o passado indefinido a um futuro incerto (Worboys, 1994).

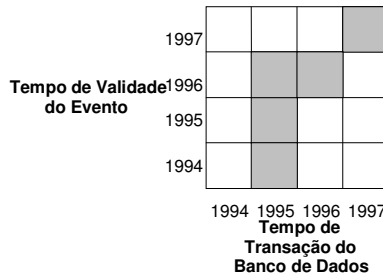


Figura 4.6 – Elemento Bitemporal (Fonte: adaptado de Worboys e Duckham, 2004).

Por esse modelo, geo-objetos são decompostos em representações geométricas espaciais primitivas, como pontos e linhas, associadas a um elemento bitemporal. Assim, um complexo espaço-bitemporal pode ser representado através de duas dimensões espaciais e duas dimensões temporais, como mostra a Figura 4.7. Na Figura 4.7, em 1995 todos os elementos primitivos espaciais pertenciam ao banco de dados e eram eventos válidos. O ponto P2 era válido em 1994 e foi registrado em 1995. Em 1994 teve o registro do ponto P3 e das linhas L2 e L3 no banco de dados, e estes eram um evento válido em 1994 e 1995. Foi registrado no banco de dados em 1995 o ponto P2, válido em 1994 e 1995.

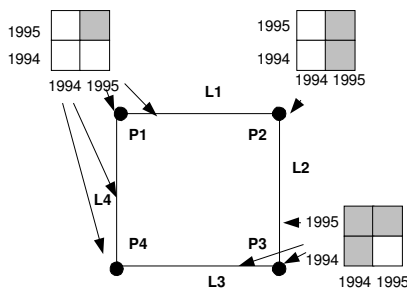


Figura 4.7 – Complexo espaço-bitemporal (Fonte: adaptado de Worboys e Duckham, 2004).

Um complexo espaço-bitemporal possibilita as operações *Lifetime*, *Max-S-Project* e *Min-S-Project*. A operação *Lifetime* projeta um objeto espaço-temporal em um período temporal ou bitemporal no qual ele possuía existência. A operação *Max-S-Project* projeta o objeto espaço-temporal sobre toda a sua extensão espacial ou sobre todas as partes do objeto que já possuíam existência em algum intervalo de tempo. A *Min-S-Project* projeta o objeto espaço-temporal em sua maior extensão comum, que corresponde às partes que possuíam existência em todo o tempo de vida do objeto (Worboys, 1998).

As consultas temporais utilizam lógica temporal para recuperar os valores (tempo de transação e/ou de validade). Nas consultas sobre um elemento temporal, o espaço é visto como um conjunto de identificadores, correspondendo a pesquisas em banco de dados temporais. Muitas consultas demandam recuperações históricas complexas. A seleção pode ser feita sobre dados, espaço, valores temporais ou ambos. O grande desafio dos pesquisadores na área de recuperação de informação espaço-temporal é explorar a consistência e completude das propostas existentes e buscar soluções em relação à integridade espaço-temporal, consultas de multi-versões ou de versões históricas longas e complexas (Cheylan, 2001).

4.3.2 Relacionamentos espaço-temporais

A representação do tempo e do espaço implica na combinação de relacionamentos temporais e espaciais em uma estrutura integrada (Claramunt e Juang, 2000). Os relacionamentos entre intervalos temporais utilizam operadores booleanos de igualdade e desigualdade de instantes, de maneira semelhante à definição das matrizes de 4 e 9 interseções usadas em relacionamentos espaciais (Egenhofer e Franzosa, 1991). As relações entre intervalos de tempo implicam na definição de um operador de precedência, associado a um conjunto de operadores típicos da teoria de conjuntos, tais como *união*, *interseção*, *inclusão* e *igualdade*. Allen (1983) definiu sete relações (Figura 4.8): *before* (antes de), *meets* (toca), *during* (durante), *finishes* (finaliza junto com), *equal* (igual a), *overlaps* (sobrepõe) e *starts* (inicializa junto com). Claramunt e Juang (2000) apresentaram 56 possíveis relacionamentos espaço-

temporais através da combinação desses sete relacionamentos temporais e dos 8 relacionamentos espaciais derivados da matriz de 4 interseções.

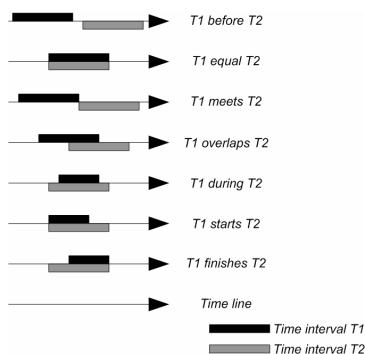


Figura 4.8 – Predicados temporais (Fonte: adaptado de Allen, 1993).

4.4 Identidade, vida e evolução de geo-objetos

4.4.1 Identidade de geo-objetos

A *identidade* é uma característica imutável de um geo-objeto. Ela é fundamental para a representação espaço-temporal, pois possibilita a distinção entre geo-objetos independentemente de sua estrutura, valores e atributos, incluindo aí atributos chave. Por exemplo, a identidade de uma pessoa não muda se o número de sua carteira de motorista for alterado. Note a diferença entre o conceito de identidade e o de identificador, ou de chave primária, usual em bancos de dados, que é empregado no sentido de “atributo cujo valor não se repete”. Consideramos aqui que o valor de qualquer atributo pode mudar, dentro das regras semânticas que levaram à sua definição durante a modelagem; por outro lado, a mudança da identidade de um objeto só ocorre em situações particulares, em que se pode afirmar que a *natureza* do objeto mudou o suficiente para que consideremos seu novo estado como sendo um objeto inteiramente diferente. Por exemplo, quando um lote urbano é dividido em dois, uma das partes pode reter a identidade do lote original (no caso, apenas um dos seus atributos mudou: a forma

geométrica). A outra parte constitui um lote novo, e que portanto recebe uma nova identidade.

A existência de um geo-objeto está associada à manutenção da sua identidade ao longo do tempo. As premissas das propostas para se implementar mudanças baseadas em identidade de geo-objetos são os critérios de *imutabilidade*, *reusabilidade* e *singularidade da identidade*. O registro das mudanças que ocorrem em geo-objetos estão fundamentadas pelos conceitos de orientação por objetos e de bancos de dados temporais. Essas propostas se baseiam na ordem temporal de estados de identidade e o vínculo temporal com os predecessores ou com o geo-objeto original (Al-Taha e Barrera, 1994).

4.4.2 Vida e evolução de geo-objetos

Segundo Frank et al. (2001) as mudanças de geo-objetos podem ser de *vida*, *genealogia* e *movimento*.

A noção de *vida* corresponde ao conjunto das mudanças de características de um geo-objeto durante sua existência, caracterizada pela sua identidade. Um lote, por exemplo, pode ter alterados o seu proprietário ou sua zona de uso do solo, sem que se torne um novo lote. Essas mudanças, portanto, fazem parte do registro de eventos que ocorreram ao longo da vida do lote.

A *genealogia* corresponde a um *link* temporal para o gerenciamento de sucessivas versões temporais de um objeto, como no caso em que se usa um rótulo temporal (*timestamp*). É similar a uma árvore genealógica familiar, no sentido em que um geo-objeto pode dar origem a outro, permanecendo ligado a ele como seu predecessor.

O *movimento* contempla mudanças de expansão ou contração, deformação e localização, como as que ocorrem na ampliação ou redução de subdivisões administrativas, no deslocamento simultâneo ao derretimento de um *iceberg*, ou no caso de objetos que se deslocam constantemente, como veículos.

Cheyland (2001) propôs quatro classificações para as mudanças espaciais elementares. A primeira classificação é a dos geo-objetos *permanentes*. Eles recebem esse nome por que permanecem

inalteradas a sua forma e localização e podem ser alteradas as suas características não-espaciais. A segunda classificação é a dos *geo-objetos variáveis*. Seu tamanho e topologia podem variar sem gerar novos geo-objetos. Neste caso, são mantidas a forma e a identidade dos geo-objetos e são geradas múltiplas versões da mesma unidade espacial no tempo. A terceira classificação é a dos *geo-objetos modificáveis*. Sua modificação ocorre através da recomposição de um determinado espaço, adotando operações de partição dinâmica (divisão e junção). Os objetos podem mudar a forma, topologia e gerar novos objetos. Isso ocorre com os lotes urbanos e seus limites dentro de uma mesma quadra (Figura 4.9).

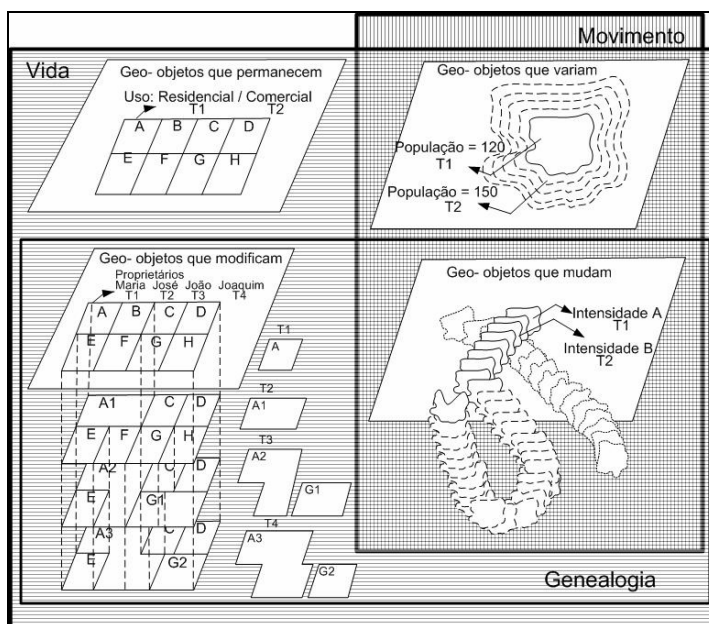


Figura 4.9 – Situações de mudanças espaciais no tempo (Fonte: adaptada de Cheylan, 2001).

A quarta classificação é a dos geo-objetos *que mudam* ou dinâmicos. Eles admitem mudanças na forma, topologia, atributo, localização e podem gerar novos objetos.

O conceito de vida é válido para todas as situações de mudanças, mas suficiente somente para o tipo de mudança de geo-objetos permanentes. A noção de movimento afeta os geo-objetos que variam e mudam, mas é suficiente somente para os que variam. A noção genealógica afeta os geo-objetos que modificam e mudam, mas é suficiente somente para os que modificam (Cheylan, 2001).

Algumas regras de mudanças durante a vida ou existência de um geo-objeto, são determinadas pelas operações que definem como ele adquire, muda ou perde a identidade ao longo do tempo (Figura 4.10). Essas operações são denominadas *construtores temporais*, e podem ocorrer em um geo-objeto ou entre geo-objetos diferentes (Medak, 1999).

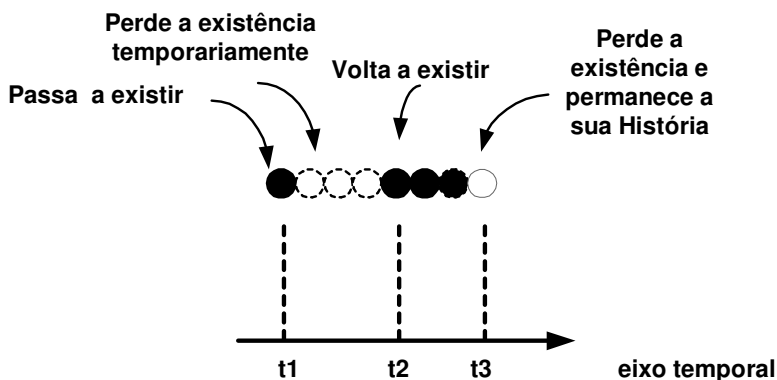


Figura 4.10 – Linha da vida - Lifeline (Fonte: adaptada de Medak, 2001).

Uma mudança pode ser *incremental* ou *contínua*. Em uma escala microscópica, todo geo-objeto sofre mudanças constantemente. Mas, em uma escala macroscópica, é importante uma distinção entre duas situações conceituais: (a) geo-objetos cujas propriedades podem ser consideradas estáveis, durante um certo tempo, até que ocorre uma mudança instantânea (por exemplo, quando um lote muda de proprietário); (b) geo-objetos cujas propriedades mudam constantemente, porém as representações são apenas capazes de capturar instantâneos temporais (*snapshots*) (por exemplo, no registro da

temperatura do ar em uma estação meteorológica). No primeiro caso, considera-se que o objeto é *estável entre mudanças* e, no segundo, o objeto está *sujeito a mudanças contínuas*.

Quanto à sua existência diante da ocorrência de mudanças, os geo-objetos podem ser classificados como *continuants* e *ocurrents*. Objetos *continuant* são capazes de permanecer com a mesma identidade e de existir por um longo tempo, como um lote, um planeta ou um animal. Por outro lado, objetos *ocurrent* acontecem em um determinado tempo e têm curta duração, como, por exemplo, um *evento* da picada de um mosquito, uma *ação* de lembramento de lotes, um *processo* de deslizamento de terra ou a *atividade* de cortar uma árvore (Worboys, 2005).

Geo-objetos associados a partições definidas por convenções humanas, como no caso de informações sobre a realidade de um sistema de cadastro urbano, demandam consultas complexas, do tipo “selecionar os lotes públicos que foram criados pela junção de lotes particulares e que perderam parte de sua área para formar logradouro(s)”. Por esta razão, alguns pesquisadores têm dedicado especial atenção à elaboração de construtores capazes de modelar e gerenciar relacionamentos temporais entre objetos, considerando sua identidade. (Al-Taha e Barrera, 1994) (Hornsby e Engenhofer, 1997) (Hornsby e Engenhofer, 1998) (Hornsby e Engenhofer, 2000).

A evolução de geo-objetos somente pode ser recuperada pela identidade de um geo-objeto ou sua localização espacial. A identidade de um geo-objeto tem sido apresentada como uma parte da semântica associada aos processos de mudanças espaço-temporais. Apresentamos, a seguir, as operações propostas considerando a identidade de geo-objetos.

Pode-se recuperar toda a *evolução* histórica de um geo-objeto através de sua identidade, desde que haja uma conexão genealógica entre objetos. Alternativamente, pode-se determinar as mudanças ocorridas em um determinado espaço conhecendo-se apenas sua localização. É fundamental poder determinar, em qualquer situação, que mudanças permitem que o geo-objeto permaneça o mesmo (i.e., mantenha a sua

identidade apesar das mudanças) e que mudanças fazem com que o objeto evolua para outro(s), deixando de existir com aquela identidade.

4.4.3 Operações de mudança baseadas na identidade

Para demonstrar as possíveis mudanças de estado relativas à identidade de objetos, Hornsby e Egenhofer (1997, 1998, 2000) desenvolveram uma linguagem visual pictórica, denominada CDL (*Change Description Language*). A CDL permite descrever cenários através da seqüência de transições da identidade de objetos ao longo do tempo. Trata-se de um modelo qualitativo, baseado na seqüência temporal dos eventos, e que possui extensões para representar relacionamentos espaciais, associações entre geo-objetos e propriedades de geo-objetos.

A Figura 4.11. apresenta algumas primitivas da CDL. Existem primitivas que indicam que um geo-objeto pode nunca ter existido, existe no tempo atual ou existiu em algum tempo anterior, mas não possui existência no tempo atual. O geo-objeto pode possuir um vínculo temporal com a sua história ou não. A primitiva de *transferência de propriedade* corresponde à cópia de propriedades e à transição de estados em mesmo geo-objeto ou entre geo-objetos diferentes. A transmissão do tipo *emissão* corresponde à substituição de um geo-objeto por outro do mesmo tipo, mantendo as propriedades, e a transição do tipo *separação* subentende um cenário de divisão da geometria.

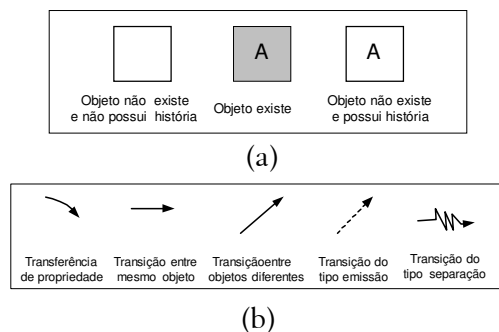


Figura 4.11 – a) Primitivas de estados da identidade de geo-objetos e b) Primitivas de tipos de transição (Fonte: adaptada de Hornsby e Egenhofer (1997, 2000)).

A CDL é usada aqui para facilitar o entendimento das semelhanças e diferenças existentes entre as diversas propostas de operações de mudança baseadas na identidade descritas na literatura (Clifford e Croker, 1988) (Chu et al., 1992) (Al-Taha e Barrera, 1994) (Hornsby e Egenhofer, 1997, 1998 e 2000) (Medak, 1999 e 2001) (Al-Taha, 2001).

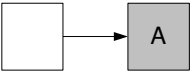
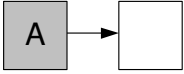
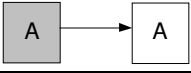
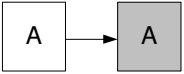
As propriedades de um geo-objeto podem ser transmitidas para outro geo-objeto já existente ou criado especificamente para recebê-las. No último caso, o geo-objeto origem é em geral destruído, porém mantido como predecessor do novo geo-objeto. Um geo-objeto pode dar origem a um novo geo-objeto ou ser substituído por outro objeto. São criados *links* temporais entre os geo-objetos origem e os seus sucessores.

As primeiras operações de identidade definidas foram *create* e *destroy*. A operação *create* cria o vínculo temporal (predecessores) com o(s) objeto(s) origem, sendo que somente um geo-objeto que nunca existiu pode não possuir predecessores. A operação *destroy* elimina o geo-objeto e a sua história.

Clifford e Croker (1988) acrescentaram as operações *kill* e *reincarnate*. A operação *kill* suspende a existência de um geo-objeto temporariamente, sem destruir a sua identidade, e a operação *reincarnate* “ressuscita” um

geo-objeto suspenso. Essas operações são apresentadas na Tabela 4.2, com os nomes das operações por autor e a sua representação em CDL.

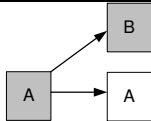
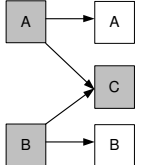
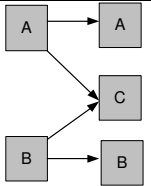
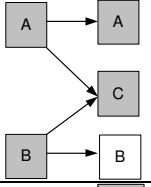
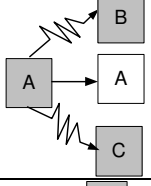
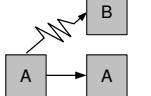
Tabela 4.2 – Operadores básicos de identidade de geo-objetos

<i>Al-taha e Barrera (1994)</i>	<i>Hornsby e Engenhofer (1997)</i>	<i>Medak (1999)</i>	<i>CDL (2000)</i>
<i>create</i>	<i>create</i>	<i>create</i>	
<i>destroy</i>	<i>destroy</i>	<i>remove</i>	
<i>kill</i>	<i>eliminate</i>	<i>destroy</i>	
<i>reincarnate</i>	<i>reincarnate</i>	<i>resume</i>	

Chu et al. (1992) propuseram as operações *evolution*, *fission* e *fusion* (Tabela 4.3). A operação *evolution* substitui a identidade atual por uma nova identidade. A *fission* cria novas identidades a partir de um geo-objeto existente com o sentido de subdivisão. A *fusion* cria uma nova identidade a partir de outras, com o sentido de fusão. Essas operações destroem todos os geo-objetos origem.

Hornsby e Engenhofer (1997 e 1998) incluíram as operações *generate*, *mix* e *splinter* (Tabela 4.3). As operações *generate* e *mix* possuem a semântica da operação *fusion*, porém na operação *generate* todos os geo-objetos origem são preservados. Na operação *mix*, nem todos são destruídos. A operação *splinter* possui a mesma semântica da *fission*, porém mantém a existência do geo-objeto origem.

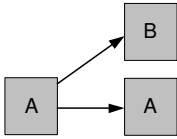
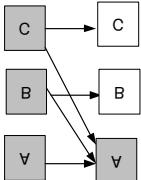
Tabela 4.3 – Operadores de identidade de geo-objetos

<i>Al-taha e Barrera (1994)</i>	<i>Hornsby e Engenhofer (1997)</i>	<i>Medak (1999)</i>	<i>CDL (2000)</i>
<i>evolve</i>	<i>metamorphose</i>	<i>evolve</i>	
<i>fuse</i>	<i>merge</i>	<i>fusion</i>	
	<i>generate</i>		
	<i>mix</i>		
<i>fission</i>	<i>divide</i>	<i>fission</i>	
	<i>splinter</i>		

Al-Taha e Barrera (1994) acrescentaram ainda as operações *spawn* e *identify* (Tabela 4.4). A operação *spawn* gera novas identidades a partir de um geo-objeto existente, e só difere da operação *evolution* porque mantém o geo-objeto origem. A operação *identify* funde um conjunto de

geo-objetos em um dos geo-objetos do conjunto, destruindo os demais (Al-Taha, 2001).

Tabela 4.4 – Operadores de identidade Spawn e Identify

<i>Al-taha e Barrera (1994)</i>	<i>Hornsby e Engenhofer (1997)</i>	<i>Medak (1999)</i>	<i>CDL (2000)</i>
<i>spawn</i>	<i>spawn</i>		
<i>identify</i>			

Medak (1999) formalizou uma proposta de 14 operadores de identidade que contemplam as propostas de Hornsby e Engenhofer (1997, 1998) e de Al-Taha e Barrera (1994), acrescentando a operação *restructure*. A operação *restructure* (Figura 4.12) foi criada para processos de reestruturação que envolvem vários objetos. São criados novos objetos através de um processo de redivisão interna de um espaço. Essa operação não mantém a ligação de cada objeto origem com o seu sucessor. Um exemplo dessa operação é uma redivisão de lotes em uma quadra.

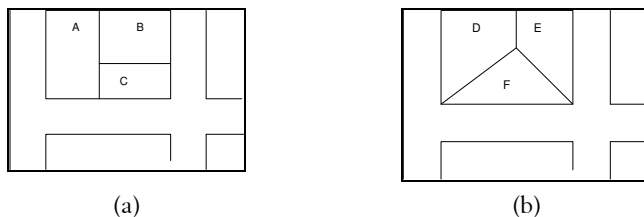


Figura 4.12 – Unificação dos lotes A, B, C originais (a) através da operação *restruct* gerando os Lotes D, F, E.

Medak (1999) concluiu que as operações básicas para a mudança de um simples geo-objeto são as operações relacionadas a sua existência (Tabela 4.2): *create*, *resume*, *suspend* e *destroy*. Pois, com essas operações pode-se obter as outras operações propostas.

As propostas de operação baseada na identidade de geo-objetos evoluíram muito em termos da identidade do geo-objeto, permitindo que (a) um geo-objeto seja suspenso para ser recuperado no futuro, no sentido de retomar a existência do geo-objeto; (b) existam vínculos temporais entre identidades de geo-objetos para composição da história do geo-objeto; (c) as operações propostas sejam obtidas através da composição de um conjunto de operações básicas. No entanto, mesmo tendo sido desenvolvidas considerando objetos espaciais, essas propostas não são detalhadas o bastante para considerar o efeito das operações sobre as propriedades espaciais e não espaciais dos objetos e os seus relacionamentos.

4.5 Exemplo de modelo espaço-temporal: cadastro urbano

Um sistema de informação cadastral é geralmente, uma ferramenta de responsabilidade pública. Ele é essencial para a administração das cidades e para os planejamentos urbanos e sociais, envolvendo áreas responsáveis pelas informações legais, sociais, administrativas, econômicas e de meio ambiente (Al-Taha, 2001).

Apresentamos, a seguir, um exemplo baseado na realidade do Cadastro Técnico Municipal (CTM) do município de Belo Horizonte. Esse exemplo refere-se a um projeto de implantação de uma linha de metrô de superfície, hoje existente, sendo que as datas apresentadas são fictícias. Os geo-objetos considerados são: *linha de metrô* (para representar a área de um segmento da linha de metrô), *lote*, *quadra*, *logradouro* (representando trecho de logradouro) e *área remanescente*. Áreas remanescentes, para o CTM, são sobras de áreas oriundas de um processo de desapropriação. Elas são remanescentes por não possuírem área suficiente e nem as características necessárias, determinadas pela lei de regulamentação do solo, para serem definidas como um lote urbano.

Adotamos também o *polígono* como representação espacial e o *ano* para a representação da granularidade temporal.

A Figura 4.13 mostra o impacto da mudança na realidade da cidade. Essa mudança pode ser observada através da representação vetorial dos geo-objetos antes da implantação da linha de metrô (Figura 4.13 a) e da imagem após a sua implantação (Figura 4.13 b). A imagem mostra que a área interna aos limites da linha de metrô passou por grandes mudanças: foram demolidos trechos de logradouros e edificações; deixaram de existir lotes, quadras e logradouros; e, surgiram a área do metrô e a linha de metrô.



Figura 4.13 – Área afetada pela linha de metrô antes (a) e depois da sua implantação (b) (Fonte: cadastro CTM da Prodabel).

4.5.1 Elemento temporal

Demonstramos a seguir a importância de ter o elemento bitemporal associado à representação espacial para informações urbanas. Foi registrado no banco de dados do CTM, em 2/5/1996, que a previsão de implantação da linha de metrô seria em 20/3/1998. Depois, em 1/10/1998, registrou-se que a linha de metrô foi implantada em 3/9/1998. Mas, em 7/12/1998 descobriu-se que o dado de implantação estava incorreto, pois a implantação tinha ocorrido em 3/5/1998 (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 – Tempo bitemporal.

Tempo do BD (t_D)	Tempo de Evento (t_E)	Significado
2/5/1996	20/3/1998	Implantação prevista
1/10/1998	3/9/1998	Implantação
7/12/1998	3/5/1998	Correção Implantação

Para o planejamento urbano é importante saber qual era o tempo previsto para implantação da linha de metrô e quando ele foi realmente implantado (tempo de evento). E, além disso, é extremamente relevante identificar o período em que a informação de implantação do projeto esteve errada no banco de dados (1/10/1998 a 7/12/1998), tempo de transação. Pois, durante esse período, a informação disponível para apoiar à tomada de decisão estava incorreta. O elemento bitemporal possibilita essa distinção, porém ainda é objeto de pesquisa a possibilidade da alteração do tempo de transação para corrigir a história passada.

4.5.2 Mudanças espaço-temporais

Na Figura 4.14 ilustramos algumas mudanças no parcelamento do solo, durante o período de 1994 a 2000. Em 1995, ocorreu uma ação de remembramento dos lotes LA e LB, que originou (criou) o lote LD. Um remembramento pode ocorrer por uma solicitação do proprietário quando adquire lotes adjacentes. Neste caso, é realizada uma operação de junção da geometria. Em 1996, criou-se um projeto para implantação de uma linha de metrô de superfície nessa área. A linha de metrô (LT1) do projeto foi implantada (criada) em 1998. E, ao mesmo tempo, os geo-objetos que deram origem a essa linha de metrô perderam a sua existência. Esses geo-objetos foram: o trecho de logradouro R1, o lote LE e parte dos lotes LC e LF. Também, devido a mesma ação, surgiram as áreas remanescentes A1 e A2 com a área restante do logradouro R1 e do lote LF. Além disso, foi alterada a área e geometria do lote LC. A seguir, em 2000, uma outra ação de remembramento do lote LD com a área A1 foi realizada. Essa ação deu origem ao lote LG.

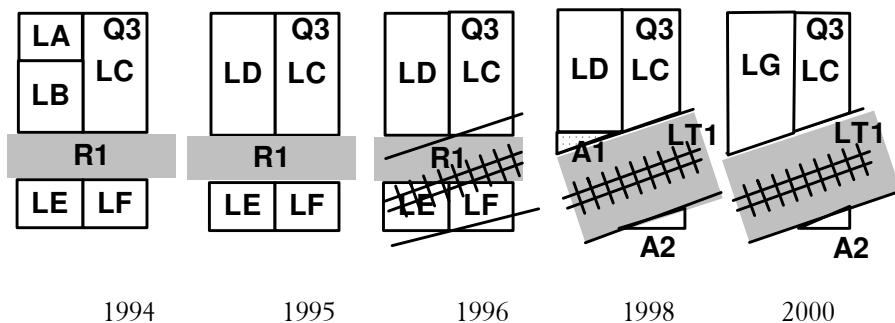


Figura 4.14 – Situações de mudanças espaciais no tempo pela implantação da linha de metrô.

A Figura 4.15 apresenta a CDL do exemplo com as respectivas operações realizadas e os seus objetos resultantes. Alguns objetos resultantes são intermediários (como o LH) por isso não aparecem na Figura 4.14. Eles são gerados para determinar uma melhor composição da história desses geo-objetos.

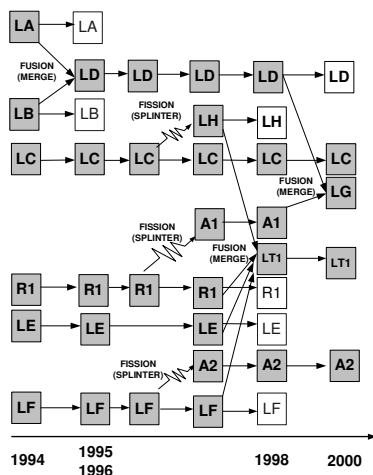


Figura 4.15 – CDL das operações baseadas na identidade realizadas para implantação da linha de metrô.

Sobre a situação apresentada na Figura 4.14, podemos imaginar as seguintes consultas relacionadas à vida e evolução dos geo-objetos:

1. Quais eram as configurações espaciais dos lotes da quadra Q3 em 1994?
2. Quais eram as configurações espaciais dos lotes da quadra Q3 utilizadas na cobrança do IPTU entre 1996 e 2000?
3. Quais foram todas as configurações espaciais do lote LC no período de 1994 até hoje?
4. Quais foram os lotes que ficaram sem água das 8:00 da manhã do dia 12 de janeiro até às 20:00 do dia 15 de janeiro de 1998?
5. Quais foram cronologicamente os proprietários do lote LD?
6. Quais foram às sucessivas taxas anuais de IPTU cobradas do lote LC?
7. Quais foram os imóveis que foram desapropriados entre 1998 e 2000?
8. Quais são as quadras que possuem lotes com áreas alteradas pela implantação da linha de metrô LT1?
9. Quando a pavimentação do logradouro R1 correspondeu a um percentual maior que 40%?
10. Quais os períodos de tempo em que o lote LD não obteve o benefício de iluminação pública no ano de 1998?
11. Quais ações geraram mudanças na quadra Q3 entre 1994 e 2000?
12. Quais foram os lotes que deixaram de existir no período de 1996 a 2000?
13. Quais lotes foram criados entre 1994 e 1995?
14. Quais geo-objetos deram origem a linha de metrô?
15. Como essas ações foram realizadas? Quais foram os objetos origem dessa ação e os objetos resultantes? Como as alterações

foram realizadas nos objetos? Quais foram as operações utilizadas para gerar a alteração? Qual a lógica utilizada pela operação?

Essas consultas buscam recuperar o estado de um geo-objeto, a História de uma região espacial específica ou de geo-objetos e de um elemento temporal. Como também, informações sobre as ações que promoveram as mudanças.

Esse exemplo mostra que ainda são necessários avanços nas pesquisas para capturar todos os aspectos da dinâmica de geo-objetos espaço-temporais. Uma ontologia de mudança deve responder a perguntas como (1) *que mudanças ocorreram em cada objeto?* (2) *quando essas mudanças ocorreram?*, (3) *como as mudanças foram geradas?*, (4) *quais regras determinaram essas mudanças?* e (5) *quais foram as causas da mudança?* Criar modelos para suportar ontologias de mudanças é essencial para que se possam obter informações dessas mudanças e dos geo-objetos envolvidos (Dias et al., 2004).

4.6 Exemplo de modelo espaço-temporal: queimadas na Amazônia

No Brasil, a queima de biomassa vegetal constitui uma prática de manejo, principalmente, para a criação de gado e a expansão da fronteira agrícola. As queimadas estão amplamente inseridas no processo produtivo da Amazônia e do Cerrado brasileiro e são fatores que impulsionam a expansão agropecuária nestas regiões. As queimadas ocorrem todo ano durante a estação seca, sendo no final deste período em que ocorre a maior incidência.

A ocorrência de queimadas acarreta inúmeros impactos ambientais, por isso a modelagem de um banco de dados geográficos que contemple o aspecto temporal de questões relacionadas a desmatamentos e queimadas é de grande importância para a análise e combate a estes problemas. Essa seção apresenta como exemplo, uma proposta de modelagem de um banco de dados espaço-temporal para dados de queimadas. A descrição completa desse trabalho pode ser encontrada em Correia et al. (2004).

A modelagem espaço-temporal das queimadas foi feita considerando-se os focos de calor como eventos isolados que podem ou não ser

conectados espacial e temporalmente, formando assim queimadas com variação espaço-temporal. Os focos de calor são obtidos através de imagens de sensoriamento remoto. Para tanto, cada *pixel* da imagem onde foram identificados os focos de calor, é representado por um ponto com uma região contígua ao seu redor representando o tamanho nominal dos *pixels* da imagem (Figura 4.16). Com isso, é possível acompanhar a evolução dos focos de calor e de queimadas. Ao se realizar uma consulta, pode-se tanto analisar focos de calor quanto queimadas.

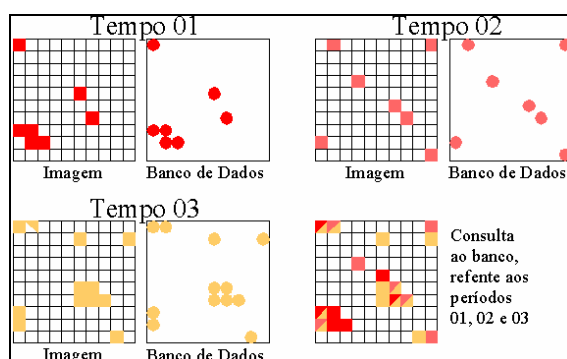


Figura 4.16 – Modelagem espaço-temporal de focos de calor e queimadas.

Além dos dados de focos de calor, o banco de dados foi projetado de forma a armazenar dados de uma base cartográfica, dados de legislação, cadastro de imóveis e dados de fiscalização.

O processo de desmatamento é representado por polígonos que representam talhões de áreas desmatadas e que, normalmente, evoluem ao longo do tempo em um processo incremental. Para inclusão do processo de desmatamento foi definido um conjunto de operações sobre as geometrias de entrada do sistema, para possibilitar a construção dos relacionamentos topológicos e temporais entre os geo-objetos, usando a abordagem descrita em Dias et al. (2004) (junção, separação e destruição).

Todos os dados foram incorporados a um SIG de arquitetura em camadas, ou seja, onde os dados descritivos e espaciais são guardados em tabelas relacionais armazenadas em um SGBD objeto-relacional. Sobre esse modelo lógico foi possível implementar consultas espaço-temporais de interesse como : “*Quais são as áreas desmatadas no período de 01-06-2004 a 09-06-2004 e posteriormente queimadas em 17-06-2004?*” ou “*As queimadas agrícolas foram mais intensas do que as queimadas florestais no período de 01-06-2004 a 09-06-2004 no município 9?*”. A Tabela 4.6 mostra os passos necessários para a resposta à primeira pergunta usando comandos SQL – Structured Query Language.

Tabela 4.6 – Operações espaciais para obtenção das áreas desmatadas entre 01 a 09-06-2004 e posteriormente queimadas em 17-06-2004

Etapas	Comando SQL
Seleção dos polígonos das áreas desmatadas entre 01-06-2004 e 09-06-2004	<pre>Select object_id, spatial_data into temporary desmatamento from te_polygons_desmatamento where geom_id=(select geom_id from temp_desmatamento where initial_time >= '2004- 06-01' and initial_time <= '2004-06-09');</pre>
Seleção dos pontos de queimadas em 17-06-2004	<pre>Select object_id, spatial_data into temporary queimadas from te_points_focos where object_id=(select object_id from att_focos where initial_time = '2004-06-17');</pre>
Seleção das áreas desmatadas e depois queimadas	<pre>Select t1.object_id, t2.object_id from queimadas t1, desmatamento t2 where within(t1.spatial_data, t2.spatial_data);</pre>

Essas consultas espaço-temporais preliminares forneceram os resultados esperados, sinalizando para uma modelagem adequada, o que possibilitou a integração de dados históricos de desmatamentos e queimadas. Mas faz-se necessário a ampliação das consultas espaço-

temporais, com o objetivo de avaliar, mais detalhadamente, o modelo lógico implementado nesse exemplo.

4.7 Leituras suplementares

Como visto neste capítulo, o uso de modelos espaço-temporais é necessário para uma grande variedade de aplicações de geoinformação. Devido à complexidade envolvida na representação combinada de espaço e tempo, estes modelos ainda estão em desenvolvimento, e trata-se de uma área de pesquisa extremamente ativa. Os principais temas de pesquisa incluem: *ontologias de mudança de geo-objetos, modelos espaciais dinâmicos, e modelos para objetos móveis.*

A questão de ontologias de mudança é abordada nos artigos de Frank (2003), Grenon e Smith (2003), Worboys e Hornsby (2004), Worboys (2005) e Dias et al. (2004). O tema específico de identidade de geo-objetos é discutido em Medak (1999) e Hornsby e Egenhofer (2000). A questão de ações e atividades é discutida em Kuhn (2001). A questão de modelagem dinâmica espacial, não discutida em detalhe neste capítulo, é apresentada em Burrough (1998) e Couclelis (1985). Exemplos de aplicações são apresentados em Almeida et al. (2003) e Pedrosa et al. (2002). Os problemas de modelagem de objetos móveis são discutidos no Capítulo 5 do livro e revisados no artigo de Guting et al. (2003).

Referências

- ALLEN, J. F. Maintaining Knowledge about Temporal Intervals. **ACM Communications**, 26, pp. 832-843, 1983.
- ALMEIDA, C. M. D.; MONTEIRO, A. M. V.; CAMARA, G.; SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L.; BATTY, M. Empiricism and Stochastics in Cellular Automaton Modeling of Urban Land Use Dynamics. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 27, n.5, p. 481-509, 2003.
- AL-TAHA, K., 2001. Identities through time. In: FRANK, A. U.; RAPER, J. e CHEYLAN, J. eds., **Life and Motion of Socio-Economic Units**, London: Taylor & Francis.
- AL-TAHA, K; BARRERA, R., 1994. Identities through time. In: International Workshop on Requirements for Integrated Geographic Information Systems, New Orleans, Louisiana, pp. 1-12.
- BURROUGH, P., 1998. Dynamic Modelling and Geocomputation. In: LONGLEY, P.; BROOKS, S.; MCDONNELL, R.; MACMILLAN, B., eds., **Geocomputation: A Primer**: New York, John Wiley.
- CHEYLAN, J., 2001. Time, actuality, novelty and history, In: FRANK, A. U.; RAPER, J. e CHEYLAN, J. eds., **Life and Motion of Socio-Economic Units**, London: Taylor & Francis.
- CHU, W. W.; IEONG, I. T.; TAIRA, R. K.; BREANT, C. M., 1992. A temporal evolutionary object-oriented data model for medical image management. Proceedings of the Fifth Annual IEEE 5th Symposium on Computer-Based Medical Systems, Durham, North Carolina.
- CLARAMUNT, C.; JIANG, B. A representation of relationships in temporal spaces. In: ATKINSON, P. e MARTIN, D. eds., **Innovations in GIS VII: GeoComputation**, Taylor and Francis, pp. 41-53, 2000.
- CLIFFORD, J.; CROKER, A. Objects in Time. **Database Engineering**, v.7, n.4, 189-196. 1988.
- CORREIA, A. H.; PIROMAL, R. A. S.; QUEIROZ, G. R.; de SOUZA, R. C. M. Modelagem de um Banco De Dados Espaço Temporal para Desmatamentos e Queimadas. **Anais XII SBSR**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2619-2627.

- COUCLELIS, H. Cellular Worlds: A Framework for Modeling Micro-Macro Dynamics. **Environment and Planning A**, v. 17, p. 585-596, 1985.
- DIAS, T.; CAMARA, G.; FONSECA, F.; DAVIS, C. Bottom-Up Development of Process-Based Ontologies. In: **GIScience 2004**, 2004, College Park, MA. AAG.
- EDELWEISS, N.; OLIVEIRA, J. P. M., 1994. Modelagem de Aspectos Temporais de Sistemas de Informação. Recife, UFPE-DI. P.
- EGENHOFER, M. J.; FRANZOSA, R. Point-Set Topological Spatial Relations. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 5, n.2, p. 161-174, 1991.
- FONSECA, F.; DAVIS, C.; CAMARA, G. Bridging Ontologies and Conceptual Schemas in Geographic Applications Development. **Geoinformatica**, v. 7, n.4, p. 355-378, 2003.
- FONSECA, F.; EGENHOFER, M.; AGOURIS, P.; CÂMARA, G. Using Ontologies for Integrated Geographic Information Systems. **Transactions in GIS**, v. 6, n.3, p. 231-257, 2002.
- FRANK, A. U., 1997. Spatial ontology: A geographical information point of view. In STOCK, O. ed., **Spatial and Temporal Reasoning**, pages 135–153. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- FRANK, A. U., 2003, Ontology for Spatio-temporal Databases. In: KOUBARAKIS, M.; SELLIS, T., eds., **Spatio-Temporal Databases: The Chorochronos Approach: Lecture Notes in Computer Science**: Berlin Heidelberg New York, Springer-Verlag, p. 9-78.
- FRANK, A. U., RAPER, J., CHEYLAN, J. **Life and Motion of Socio-Economic Units**. ESF Series, London, Taylor & Francis, p. 353. 2001.
- GRENON, P.; SMITH, B. SNAP and SPAN: Towards Dynamic Spatial Ontology, **Spatial Cognition and Computation**, v.4, n.1, p.69–104. 2003.
- GÜTING, R. H.; BOHLEN, M. H.; ERWIG, M.; JENSEN, C. S.; LORENTZOS, N.; NARDELLI, E.; SCHNEIDER, M.; VIQUEIRA, J. R. R., 2003. Spatio-temporal Models and Languages: An Approach Based on Data Types. In: KOUBARAKIS, M., ed., **Spatio-Temporal Databases**: Berlin, Springer.
- HORNSBY, K.; EGENHOFER, M. J., 1997. Qualitative Representation of Change. In: FRANK, A. U. e HIRTLE eds. **Spatial Information Theory - A**

- Theoretical Basis for GIS (International Conference COSIT'97)**, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 15-33.
- HORNSBY, K.; EGENHOFER, M. J., 1998. Identity-Based Change Operations for Composite Objects. In: POIKER, T. K. e CHRISMAN, N. eds. **Proceedings of 8th Internal Symposium on Spatial Data Handling**, July 11-15, Vancouver.
- HORNSBY, K.; EGENHOFER, M. J., Identity-Based Change: A Foundation for Spatio-Temporal Knowledge Representation. **International Journal of Geographical Information Science**. v.14, n.3, p.207-224. 2000.
- KAVOURAS, M., 2001. Understanding and Modelling Spatial Change. In: FRANK A. RAPER J. e CHEYLAN J.P. eds.: **Life and Motion of Socio-Economic Units**, Chapter 4. London: Taylor & Francis, GISDATA Series 8.
- KUHN, W. Ontologies in support of activities in geographical space. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 15, n.7, p. 613-631, 2001.
- LANGRAN. G. **Time in Geographic Information Systems**. Washington, DC, Taylor & Francis, 1993.
- MEDAK, D. Lifestyles - A New Paradigm in Spatio-Temporal Databases. Ph.D. Thesis. Technical University of Vienna, 1999.
- MEDAK, D., 2001. Lifestyles. In: FRANK, A. U.; RAPER, J. e CHEYLAN, J. eds., **Life and Motion of Socio-Economic Units**, London: Taylor & Francis, p.353.
- PEDROSA, B.; CÂMARA, G.; FONSECA, F.; SOUZA, R. C. M. TerraML - A Cell-Based Modeling Language for an Open-Source GIS Library. In: **II International Conference on Geographical Information Science (GIScience 2002)**. Proceedings, AAG, 2002, Boulder, CO, 2002.
- PEUQUET, D. J. Making Space for Time: Issues in Space-Time Data Representation. **GeoInformatica** v. 5, n. 1, p.11-32, 2001.
- RENOLÉN, A. Temporal Maps and Temporal Geographical Information Systems. Review of Research. Department of Surveying and Mapping (IKO) The Norwegian Institute of Technology. November, 1995 revised February 1997.

- SMITH, B.; MARK, D. Ontology and Geographic Kinds. In: **International Symposium on Spatial Data Handling**. Vancouver, Canada, 1998. p. 308-320.
- SNODGRASS, R. T., 1992. Temporal Databases. In: FRANK, A. U.; CAMPARI, I. e FORMENTINI, U. eds. **Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space**, Springer-Verlag, Heidelberg-Berlin. p. 22-64.
- SNODGRASS, R. T. Temporal databases: Status and research directions. **SIGMOD RECORD**, v.19, n.4, p. 83-89, 1990.
- WORBOYS, F. M. F. A unified model of spatial and temporal information, **Computer Journal**, v.37, n.1, p.26-34, 1994.
- WORBOYS, F. M. F.; DUCKHAM, M. **GIS: A Computing Perspective**. CRC Press, Boca Raton, Florida, Taylor Francis Ltd. 1995, 376 p.
- WORBOYS, M. F. Event-oriented approaches to geographic phenomena. accepted for publication in *International Journal of Geographic Information Systems*, 2005. Disponível em : <http://www.spatial.maine.edu/~worboys/downloads.htm>.
- WORBOYS, M. F., 1998. A Generic Model for Spatio -Bitemporal Geographic Information. In: EGENHOFER, M. J., GOLLEDGE, E. R. G. eds. **Spatial and Temporal Reasoning in Geographics Information Systems**. New York, Oxford University Press: 25-39.
- WORBOYS, M. F.; HORNSBY, K. From Objects to Events: GEM, the Geospatial Event Model. In: EGENHOFER, M. J.; FREKSA, C. e MILLER, H. J. eds. **Third International Conference, GIScience 2004**, 2004, Adelphi, MD, USA. Springer, p. 327-343.