

GERENCIAMENTO DE DIFERENTES TIPOS DE DADOS TEMPORAIS IMPLEMENTADOS EM BDS CONVENCIONAIS

PATRÍCIA NOGUEIRA HÜBLER

NINA EDELWEISS

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação
Porto Alegre – RS - Brasil
{ hubler, nina }@inf.ufrgs.br

RESUMO

Bancos de dados temporais (BDTs) têm o objetivo de armazenar todo o passado dos dados, possibilitando uma melhor representação das aplicações cujos dados evoluem com o tempo. Devido à dificuldade de implementar um banco de dados que manipule implicitamente o tempo, costuma-se implementar este tipo de banco de dados utilizando bancos de dados convencionais. Para isto, é feito o mapeamento do modelo de dado temporal para o convencional, sendo as informações temporais, implícitas no modelo temporal, representadas explicitamente através de atributos adicionais. Além do mapeamento das informações, a manipulação do banco de dados também deve ser analisada, devendo ser implementado um sistema gerenciador temporal que adapte as operações a serem realizadas sobre o BDT para o convencional. Neste gerenciamento temporal, diversos problemas podem ocorrer. Este artigo apresenta um estudo detalhado do gerenciamento das operações de inserção, atualização e remoção, para os diferentes tipos de BDTs (de tempo de transação, de validade, ou bitemporais), para cada forma que os rótulos temporais podem apresentar (pontos no tempo, intervalos temporais ou elementos temporais).

ABSTRACT

Temporal Databases are expected to store the whole past of data, being this way useful to represent applications that present temporal evolution of data. Due to the difficulty of implementation of a strictly temporal database, conventional databases are usually employed. The temporal data model is mapped to the conventional database model, and the temporal information, implicit in the temporal data model, are explicitly represented defining additional attributes. Besides the representation of information, the temporal management of data shall also be provided, and a temporal management system must be defined, to act prior to the host DBMS. The operations required by users must be adapted to correctly manage de data history. Several problems may arise during the operation management. This paper presents a detailed analysis of the management of the insert, update and remove operations, considering the different temporal database types (transaction time, valid time and bitemporal) for each one of the timestamps that may be used (timepoints, temporal intervals and temporal elements).

1 INTRODUÇÃO

Aplicações que utilizam sistemas de informação apresentam dados que são armazenados suas informações em bancos de dados (BDs). A constatação de que as aplicações evoluem ao longo do tempo levou à necessidade de armazenar informações não só do momento atual, mas também do passado e do presente, levando ao desenvolvimento de bancos de dados temporais (BDTs). Estes permitem armazenar e recuperar todos os estados de um objeto, registrando sua evolução ao longo do tempo [EDE 94,98, ETZ 98, ÖZS 95, TAN 93, ZAN 97]. A identificação da pertinência temporal de uma informação é representada através de rótulos temporais associados aos dados, correspondendo ao tempo de validade (TV - tempo que a informação será válida no BD) e/ou tempo de transação (TT - tempo que a informação foi inserida no BD) [JEN 98]. Quando são utilizados tanto o TT quanto o TV, o BDT é chamado de bitemporal.

Os rótulos temporais são adicionados implicitamente pelo SGBD do BDT, não sendo necessário definir atributos especiais para conter as informações temporais. Podem apresentar diferentes formas para representar as informações temporais: (i) *pontos no tempo*: quando um único valor temporal é registrado; (ii) *intervalos temporais*: quando dois valores são utilizados como um só rótulo temporal, representando os tempos inicial e final da validade da informação; e (iii) *elementos temporais*: compostos por conjuntos disjuntos de intervalos temporais.

Diversos modelos temporais foram propostos nos últimos anos [ANT 97, CLI 87, EDE 93, ELM 93, ROS 91, SAR 90, SNO 87, WUU 93]. Alguns associam aos dados apenas informações referentes ao tempo de transação, outros, ao tempo de validade e outros, ainda, tanto tempo de transação quanto tempo de validade. Estes modelos de dados temporais são, geralmente, extensões de modelos de dados tradicionais (relacionais, orientados a objetos ou entidade-relacionamento).

A utilização de um modelo de dados temporal, semanticamente rico, para especificar e manipular (consultar, registrar dados) uma aplicação, não requer necessariamente a existência de um SGBD próprio para este modelo. A tendência atual é a de implementar estes modelos temporais sobre BDs convencionais, através do mapeamento das informações temporais para atributos explícitos. Algumas experiências neste sentido foram já realizadas, mostrando sua viabilidade [ARR 94, BRA 94, CAV 95, HUB99, SIM 98, ORE 00, TIM 99].

A implementação de um modelo temporal sobre um BD convencional requer uma estratégia específica para sua representação, de modo a tornar o gerenciamento dos dados históricos independente da intervenção do usuário ou programador de aplicações. As operações realizadas para manter a base de dados (inserção, atualização e exclusão), devem ser também utilizadas nas BDTs. Para que isto seja possível, um sistema gerenciador dos dados temporais deve ser providenciado, o qual tratará da interpretação correta das informações temporais, e da manutenção correta da evolução dos dados.

As ações a serem tomadas pelo sistema gerenciador de dados temporais vai depender não somente do modelo de dados implementado, mas, principalmente, da forma utilizada para a representação temporal – pontos no tempo, intervalos temporais ou elementos temporais. Conforme o passado de dados armazenados, novas definições de informações podem gerar inconsistências, as quais devem ser resolvidas pelo sistema gerenciador. Este é o foco analisado neste artigo – ao definir novos valores para informações, as quais já tem valores anteriores armazenados, quais os casos que podem ocorrer e como poderá ser feita esta atualização. E, ao solicitar a remoção de informações da base de dados, qual a atitude tomada pelo sistema gerenciador.

Este artigo visa, portanto, analisar as diversas formas de gerenciar os diferentes tipos de BDTs, buscando sempre garantir a integridade das informações. Na seção 2 são apresentados alguns conceitos de implementações de modelos temporais em SGBDs convencionais. Na seção 3 são analisadas as operações que podem ser executadas sobre BDTs. As operações a serem executadas sobre BDT que utilizam somente o tempo de transação são apresentadas na seção 4. Na seção 5 encontram-se as operações a serem executadas em BDTs que utilizam somente o tempo de validade e, na seção 6, em BDTs bitemporais. As conclusões são apresentadas na seção 7.

2 IMPLEMENTAÇÃO DE BANCOS DE DADOS TEMPORAIS EM SGBDs TRADICIONAIS

Muitos pesquisadores têm se dedicado a estudar a forma de representar a temporalidade dos dados nos últimos anos, pois a implementação de bancos de dados temporais se torna necessária em diversas áreas relevantes, tais como sistemas geográficos, gerenciadores eletrônicos de documentos, sistemas de manufatura. Estes sistemas, em geral, necessitam armazenar informações em diferentes estados, fazer previsões, análises e consultas a dados passados e/ou futuros.

A implementação de um modelo temporal sobre um BD convencional compreende duas fases distintas:

- (1) mapear as informações do modelo para o BD utilizado. Neste mapeamento, as informações temporais, implícitas no modelo temporal, devem ser explicitamente representadas através de atributos adicionais;
- (2) implementar um sistema gerenciador dos dados temporais, o qual fará o controle das informações contidas nos atributos que representam os rótulos temporais, atuando como intermediário entre as solicitações de operações por parte de um usuário e o SGBD do BD hospedeiro. Este sistema deverá “traduzir” as operações solicitadas para operações que atuem sobre o BD, controlando a integridade temporal dos dados.

Algumas experiências de implementação de BDT sobre BD convencionais já foram realizadas, demonstrando sua aplicabilidade. Entretanto, nem sempre é possível representar toda a potencialidade do modelo temporal ao fazer uma implementação sobre um BD convencional. Levando-se em consideração os recursos necessários disponíveis no SGBD e o modelo de dados temporal utilizado, diferentes níveis de implementação podem ser identificados [CAV 95]: (i) **Nível 1:** o SGBD hospedeiro não suporta regras para qualquer controle de integridade das informações devendo estas ser implementadas através de programas de aplicação; (ii) **Nível 2:** o SGBD hospedeiro suporta regras, mas outras características próprias do modelo, tais como mensagens em modelos orientados a objetos, devem ser implementadas através de programas de aplicação; (iii) **Nível 3:** o SGBD suporta todas as características do modelo permitindo a representação do modelo em sua totalidade.

Os BDs relacionais são os mais utilizados para a implementação de BDTs por serem, também, os mais utilizados comercialmente. Exemplos de sua implementação podem ser encontrados em: (i) [SIM 98] que propõe uma maneira de incorporar aspectos temporais no projeto lógico de BD, considerando as atuais funcionalidades oferecidas pelos SGBDs relacionais dominantes do mercado, sem que o tratamento temporal dos dados interferisse no trabalho dos que não precisam (ou não devem) tomar conhecimento desses aspectos temporais; (ii) no projeto ORES [ORE 00] que buscou criar um SGBDT que suportasse a representação amigável e eficiente da manipulação do conhecimento temporal, sendo desenvolvido sobre o BD comercial INGRES; (iii) [CAV 95] que propõe uma abordagem para a implementação do modelo TF-ORM utilizando SGBDs relacionais, sendo validada

sobre o SGBD relacional Ingres; (iv) no BDT TimeDB [TIM 99], que é um SGBD relacional baseado na linguagem de consulta SQL, desenvolvido utilizando SICSTus Prolog.

Algumas implementação em BDs orientados a objetos também podem ser encontradas: (i) [BRA 94] apresenta uma implementação do modelo TOODM sobre o banco de dados O₂, visando aliar as funções básicas de gerenciamento temporal às funções de evolução de esquemas e de gerenciamento de objetos apresentadas pelo O₂; (ii) TOOBIS - *Temporal Object-Oriented Databases in Information System* [TOO 99] é um projeto de criação de um SGBDOO competitivo, o qual suporta a representação e recuperação de dados temporais; (iii) Arruda [ARR 94] apresenta a implementação do modelo TF-ORM [EDE 93] sobre o SGBDOO O₂, procurando definir uma forma genérica para a implementação, estudando as principais características do SGBDOO escolhido; (iv) [CAV 95] implementou o modelo TF-ORM também no Postgres, o qual apresentou maiores facilidades de implementação, especialmente, nos mecanismos de passagem de tempo e de suporte às consultas temporais.

3 GERÊNCIA DE DADOS EM BANCOS DE DADOS TEMPORAIS

Os bancos de dados convencionais possibilitam a gerência das informações através das operações básicas inserção, atualização, exclusão e seleção. Nestes BDs, as operações de atualização e remoção podem ser realizadas sobre qualquer tupla, desde que o usuário possua permissão para tal. Para que as atividades relacionadas à manutenção da base possam ser executadas, os BDs convencionais possuem suas próprias restrições de integridade, as quais buscam manter a consistência da base de dados. Tais restrições são importantes por fornecerem garantias aos usuários quanto à veracidade das informações armazenadas.

Os BDTs gerenciam as informações, da mesma forma que os bancos de dados convencionais, através das mesmas operações básicas: inserção, atualização, exclusão e seleção. Entretanto, nos BDTs estas operações têm significado um pouco diferente. Quando é realizada uma operação de atualização, a informação anteriormente válida não pode simplesmente ser substituída pelo novo valor definido, uma vez que todo o passado dos dados deve ficar armazenado. A operação de exclusão, por sua vez, não remove a informação da base de dados, mas é realizada através de uma exclusão lógica, encerrando-se a "vida" da informação.

A exclusão física de informações também pode ser utilizada em BDTs, mas somente quando se deseja remover fisicamente informações que não é mais relevantes para a aplicação. Esta operação é conhecida por *vacuuming* e é realizada raramente, somente quando se quer diminuir o número de dados armazenados. Entretanto, deve-se estar ciente de que estas informações serão perdidas, o que contradiz o paradigma de banco de dados temporal. Devem ser criadas restrições fortes, dando direitos somente aos administradores da base para realizar esta operação. A operação de *vacuuming* pode ser realizada de 3 formas: (i) a informação válida anteriormente será válida durante toda a validade da informação excluída; (ii) a informação válida posteriormente iniciará sua validade quando a validade da informação excluída iniciou; ou (iii) o tempo no qual esta informação era válida poderá ser utilizado por outra tupla que será inserida.

Da mesma forma que os BDs convencionais, para que as atividades relacionadas à manutenção da base possam ser realizadas, os BDs temporais também possuem suas próprias regras de gerência, as quais buscam manter a consistência da base de dados. Tais regras dependem do tipo de banco de dados temporal a ser utilizado: banco de dados temporal de tempo de transação (BDT de TT), banco de dados temporal de tempo de validade (BDT de TV) ou banco de dados bitemporal (BD bitemporal).

A seguir é apresentada uma análise das operações (inserção do primeiro valor para um atributo, atualização e remoção) para cada um destes tipos de BDT e das ações que o gerenciador deve realizar em cada caso.

4 GERÊNCIA EM BANCOS DE DADOS TEMPORAIS DE TEMPO DE TRANSAÇÃO

Os BDT de TT mantêm todo o passado das informações associando a cada valor o tempo em que foi inserido na base de dados. A principal característica deste tipo de BD é a transparência temporal aos usuários, uma vez que os tempos são fornecidos pelo SGBD.

Com o objetivo de ter uma visão geral da estrutura das informações, considera-se a figura 1, onde os valores de 1 a 3 correspondem aos tempos de transação em uma base de dados e os valores de A a C são informações inseridas nesta base. Assim: (i) **A**: foi inserida no BD no momento 1 e deixou de ser válida no momento 2; (ii) **B**: foi inserida no BD no momento 2 e deixou de ser válida no momento 3; (iii) **C**: foi inserida no BD no momento 3 e será válida até que uma nova informação seja inserida na base de dados.

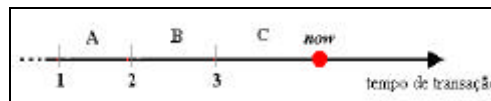


Figura 1 - BDT de Tempo de Transação: Visão Geral

4.1 INSERÇÃO EM UM BANCO DE DADOS TEMPORAL DE TEMPO DE TRANSAÇÃO

A solicitação de inserção do primeiro valor definido para um atributo em um BDT de TT é executada de diferentes formas conforme o tipo de rótulo temporal utilizado.

- *Pontos no Tempo*: Quando se utiliza pontos no tempo para representar o tempo de "vida" de uma informação, o instante da transação é anexado à informação. Conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1 - Inserção TT Pontos no Tempo

Código	Endereço	TT
001	Rua das Oliveiras, 400	01/12/1998
002	Rua das Figueiras, 500	10/01/2000
...	...	...

- *Intervalo Temporal*: Quando se utiliza intervalos temporais para representar o tempo de "vida" de uma informação, o rótulo temporal da mesma deve possuir o instante no qual inicia sua transação (quando está sendo inserida) e o instante no qual encerra sua transação, conforme tabela 2.

Tabela 2 - Inserção Intervalos Temporais

Código	Endereço	TT_inicial	TT_final
001	Rua das Oliveiras, 400	01/12/1998	Null
002	Rua das Figueiras, 500	10/01/2000	Null
...	...	...	...

- *Elemento Temporal*: Para a inserção de informações, utilizando elemento temporal, se procede da mesma forma que para intervalo temporal, pois um elemento nada mais é que um conjunto de intervalos. Assim, a inserção de uma nova informação será a inserção do primeiro intervalo.

4.2 ATUALIZAÇÃO EM UM BANCO DE DADOS TEMPORAL DE TEMPO DE TRANSAÇÃO

Nos BDTs não existe o termo "sobrescrever" uma informação. Desta forma, as atualizações são transformadas em novas inserções na base de dados. Deve-se criar uma nova tupla, sendo que esta

apenas será válida a partir do momento da sua criação. E, além disso, deve-se encerrar a validade da tupla anterior.

- *Pontos no Tempo*: Tratando-se de pontos no tempo, a nova tupla é atualizada com o TT associado. Isto implica na finalização da validade da última tupla que tinha sido inserida. Sabe-se quanto tempo uma tupla foi válida pela comparação dos tempos de transação de duas tuplas.

- *Intervalo Temporal*: O tempo de transação final da nova informação deve receber um valor que indique que esta informação será válida até que outra seja inserida (por exemplo: *null*). Além disso, a informação válida antes da atualização deve ser finalizada, fazendo com que seu tempo final de transação receba o tempo inicial de transação da nova tupla menos uma unidade da granularidade temporal utilizada.

- *Elemento Temporal*: A atualização em BDT que utilizam elementos temporais é semelhante à dos intervalos temporais. Sua única diferença, é quando se trata da inserção de novas informações com o mesmo valor, o que dará origem a intervalos disjuntos de TT nos quais a mesma informação é válida. Quando ocorrer a inserção de informações com diferentes valores, procede-se da mesma forma que para intervalos temporais.

4.3 REMOÇÃO EM UM BANCO DE DADOS TEMPORAL DE TEMPO DE TRANSAÇÃO

Sempre que houver um pedido de remoção para uma determinada informação armazenada na base, o mesmo deve resultar em uma finalização do tempo de "vida" da tupla, gerando uma exclusão lógica.

- *Pontos no Tempo*: Como uma tupla em um BDT de TT, que utiliza pontos no tempo, possui apenas o instante no qual a mesma iniciou sua validade, é difícil representar sua "exclusão" da base, pois não existe uma forma de encerrar sua validade. Pode-se realizar esta exclusão de duas formas: (i) utilizar um atributo adicional que informe o "estado" da informação, podendo ser: **A** - ativo: representando que a informação é válida no BDT ou **I** - inativo: representando a exclusão lógica da informação do BDT; (ii) definir um valor *null* específico para o domínio a partir do instante desejado, por exemplo: definir um valor *vazio* para um determinado atributo.

- *Intervalo Temporal*: Diferente da representação que utiliza pontos no tempo, um BDT com intervalos temporais apresenta a possibilidade de encerrar a validade da tupla quando desejado. Isto é realizado, atribuindo-se ao tempo de transação final, o instante desejado, o que representará que a informação não é mais válida no BDT.

- *Elemento Temporal*: Procede-se da mesma forma já citada para intervalos temporais.

5 GERÊNCIA EM BANCOS DE DADOS TEMPORAIS DE TEMPO DE VALIDADE

Um BDT de TV trata informações que serão válidas em um determinado instante de tempo, não necessariamente no instante de sua inserção à base de dados. Estes tempos são fornecidos pelos usuários.

5.1 INSERÇÃO EM BANCOS DE DADOS TEMPORAIS DE TEMPO DE VALIDADE

A solicitação de inserção de uma nova informação em um BDT de TV, conforme os de TT, também é executada de diferentes formas de acordo com o tipo de rótulo temporal utilizado.

- *Pontos no Tempo*: o usuário deve fornecer um único tempo de validade da informação. Este pode pertencer ao passado, presente ou futuro. A mesma será válida a partir do instante definido.
- *Intervalo Temporal*: o usuário deve fornecer o tempo de validade inicial e o final da informação que está sendo inserida. A informação será válida somente no intervalo definido.
- *Elemento Temporal*: se procede da mesma forma que para intervalo temporal.

5.2 ATUALIZAÇÃO EM BANCOS DE DADOS TEMPORAIS DE TEMPO DE VALIDADE

A atualização em BDT de TV resulta em novas inserções na base de dados, uma vez que as informações não podem ser substituídas por se tratar de um BD que visa manter a história das informações.

- **Pontos no Tempo**: a seguir são analisadas diferentes possibilidades de atualização, conforme o TV.
- TV maior do que todos os TVs associados a informações do BD

Quando o TV do novo valor que está sendo definido, é maior que todos os TVs das demais informações que compõem a base, esta é a última informação inserida ao BD.

O TV da nova informação indica quando a mesma iniciará sua validade e, da mesma forma, quando a anterior deverá encerrar a sua. A figura 2(a) apresenta o estado de uma base de dados, referente a um determinado conjunto de valores de um mesmo atributo, antes da inserção de uma nova informação. A figura 2 (b), representa a atualização da base com a inserção da seguinte informação: (X,3), onde: (i) **A** permanece com a mesma representação da figura 2(a); (ii) **B** vale de 2 até 3; (iii) **X**, que foi inserida, vale de 3 em diante. Neste caso, a semântica é a inserção de um novo valor.

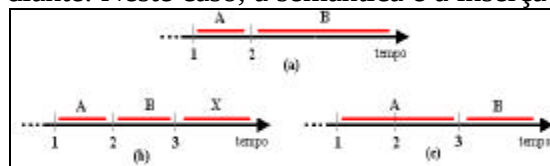


Figura 2 - Conjunto de Valores de um Atributo

Quando, por algum acaso, deseja-se corrigir o início da validade da última informação inserida, o banco de dados assume a representação apresentada na figura 2(c), atualizando a informação B para: (B,3), onde: (i) **A** vale de 1 a 3, sendo estendido até que B torne-se válida; (ii) **B** vale de 3 em diante. Neste caso, a semântica é a alteração (correção) do início da validade da informação B para mais tarde.

- TV igual ao maior rótulo temporal

Para este item, o SGBD deve substituir fisicamente o último valor que tinha sido definido, pois caso contrário, o BD ficaria com duas informações diferentes para o mesmo rótulo temporal. A operação corresponde a correção do último valor definido.

- TV menor que o último valor definido

Neste caso, o TV da nova informação que está sendo inserida, é menor que o maior TV das demais informações que compõem a base. Para esta situação, o SGBDT tem duas opções: (i) substituir fisicamente o último valor definido, cuja semântica é a correção do valor e do tempo do último definido; (ii) encerrar a validade da informação quando a última inicia, cuja semântica é a inserção de um valor válido em um intervalo anterior.

Além das ações tomadas pelo SGBDT, existe a necessidade de definição do tipo de informação que será inserida. Para isto, também, existem duas possibilidades: (i) valor da informação que está sendo inserida é igual ao último. Neste caso, apenas terá a alteração do TV da informação, fazendo com que a última inserida tenha seu início anteriormente; (ii) valor da informação que está sendo inserida é diferente do último.

- TV coincide com início de algum anterior

Neste caso, o TV da nova informação que está sendo inserida é igual a qualquer TV de uma informação que compõe a base. Existem duas possibilidades quando se deseja inserir a informação (X,2) sobre a base de dados: (i) considerar esta como a última válida e eliminar fisicamente todas as informações posteriores, cuja semântica é a correção da base a partir de um ponto; (ii) eliminar fisicamente somente a informação coincidente, cuja semântica é a correção deste valor.

- TV dentro de algum intervalo anterior

Neste caso, o TV do novo valor que está atualizando uma propriedade já inserida, está dentro de algum intervalo formado por duas informações já inseridas, sendo que a informação com tempo exatamente posterior que o TV inserido não é o último.

Existem duas possibilidades básicas para a atualização desta base de dados: (i) atualizar o TV de alguma informação, como por exemplo antecipar a validade da **B** ou (ii) atualizar a base com um novo valor.

- antecipar a validade de **B**: neste caso, pode-se inserir a seguinte informação: (B,1.5), onde a base de dados apresentará a estrutura apresentada na figura 3. A semântica deste item é a atualização do TV de uma informação;

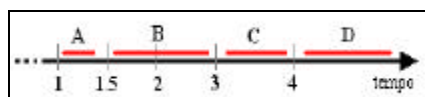


Figura 3 - Antecipação da Validade de **B**

- atualizar a base de dados com um novo valor e um novo TV: neste caso, deve-se definir a atitude do SGBDT, pois existem duas possibilidades - (a) a informação inserida vale até que outra torne-se válida, cuja semântica é a inserção de um novo valor até que outro torne-se válido; (b) a informação substituirá todas as demais informações existentes na base a partir de sua existência, cuja semântica é a substituição de todos os valores da base a partir do TV da informação que está sendo inserida. Conforme apresenta a figura 4.

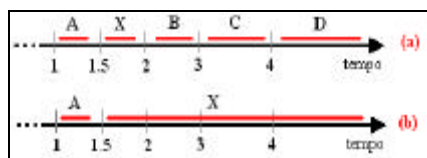


Figura 4 - Possibilidades para Atualização com Valores Diferentes

- **Intervalo Temporal**

Utilizando intervalos temporais, o usuário deve fornecer o TVI (tempo de validade inicial) e o TVF (tempo de validade final).

- TVI maior que o maior TVF

Neste caso, o TVI da informação que está sendo inserida é maior que o TVF da última informação inserida, indicando que a mesma será a última. Quando se trata de intervalos podem existir

intervalos abertos (valendo até infinito, ou seja, até que outra informação seja inserida) ou fechados (com valores definidos). Serão apresentadas características para estas duas realidades: (i) *intervalo aberto*: última informação válida na base possui TVF igual a infinito (representações como: *null*, *>>*, ∞ , etc.). Considerando uma base de dados com as seguintes informações: (A,10,20) e (B,20,>>), a inserção de uma informação (X,30,>>) faz com que o intervalo anterior seja encerrado, ou seja, (B,20,29) e que X seja válido até que outra informação seja inserida. Ao utilizar intervalos abertos, não significa que sua utilização seja permanente, pode-se utilizar um intervalo fechado assim que se desejar. (ii) *intervalo fechado*: o TVI da informação que está sendo inserida pode ser exatamente maior que o TVF da informação já inserida, ou pode ser simplesmente maior, fazendo com que exista um intervalo onde não existe um valor válido para esta situação, como apresenta a figura 5 nos itens **a** e **b** respectivamente, considerando uma base de dados original onde: (A,10,19) e (B,20,29).

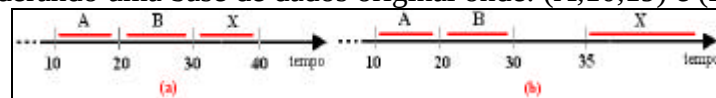


Figura 5 - Inserção de Informação Onde a Anterior Possui Intervalo Fechado

- TVI igual a qualquer TVI definido

Para este caso, onde o TVI da informação que está sendo inserida é igual a qualquer TVI de uma informação já inserida, existem três variações para o TVF. Estas variações são analisadas a seguir.

- TVF menor que qualquer TVF já inserido: a informação cujo TVF é maior continuará sendo válida na base de dados, sendo que seu TVI será adiado. Entretanto, todas as outras informações deverão ser fisicamente excluídas da base. A semântica, é a atualização de uma informação com a prorrogação da validade inicial de um dado já inserido à base;
- TVF igual a qualquer TVF já inserido: neste caso, existe a exclusão física de uma ou mais informações já inseridas na base, observando se o valor que está sendo inserido não é igual ao valor de uma das informações afetadas. Caso isto seja verdade, a semântica é a correção de um valor já definido, caso contrário, é a substituição física de informações da base de dados;
- TVF válido até o infinito: este caso pode ser evidenciado para duas realidades: (i) valor igual a algum já definido - correção da validade de uma informação ou (ii) valor diferente aos já definidos - correção do valor e substituição física dos demais.

- TVI maior que qualquer TVI definido

Para este caso, existem três variações para o TVF:

- TVF menor que qualquer TVF já inserido: para este caso, existirão dois intervalos diferentes nos quais a informação anterior à atualização é válida. A figura 6, item (a), apresenta um exemplo para esta realidade, cuja semântica é a inserção de uma informação entre um intervalo, sendo que a informação anterior não é perdida;
- TVF igual a qualquer TVF já inserido: neste caso, a informação não será perdida, apenas as demais (se for o caso) serão fisicamente substituídas pela nova informação. A figura 6, item (b), apresenta esta realidade, cuja semântica é a alteração do TVF de uma informação para mais cedo e a substituição física das demais (caso existam);
- TVF válido até o infinito: da mesma forma que o item anterior, existe a substituição física de alguns valores definidos na base e o término da validade da primeira informação afetada é antecipado. A

figura 6 (c) apresenta esta realidade, cuja semântica é a substituição física dos últimos valores da base, sem perder a primeira afetada.

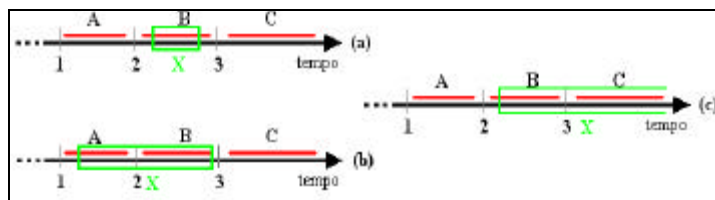


Figura 6 - TVI Maior que Qualquer TVI já Definido

- Elemento Temporal

Tratando-se de elementos temporais, como já mencionado anteriormente, procede-se de forma semelhante que para intervalos temporais. Desta forma, para cada novo intervalo, no qual a informação será válida, deverão ser realizados os teste apresentados acima. O que irá gerar maior diferença, será quando da implementação.

A figura 7 apresenta um exemplo de intervalos temporais, considerando o mesmo valor para uma informação válido em diferentes instantes do tempo. Nesta figura, a informação *departamento = vendas* é válida em três momentos diferentes no BD. Inicialmente, é válida no intervalo (10,30), após, de (40, 50) e, finalmente de 60 até que outro intervalo seja criado ou que outro valor seja definido para a informação *departamento*. Desta forma, os testes apresentados para os intervalos temporais são válidos para os elementos temporais, uma vez que os mesmos são formados por conjuntos de intervalos.

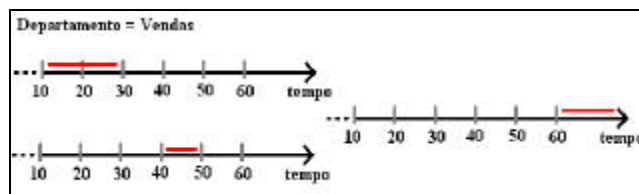


Figura 7 - Exemplo de Elemento Temporal

5.3 REMOÇÃO EM UM BANCO DE DADOS TEMPORAL DE TEMPO DE VALIDADE

A validade das informações, sendo inserida pelo usuário, facilita a manutenção da base quando refere-se à exclusão. A exclusão em uma base de dados temporal ocorre quando o usuário não deseja que uma informação permaneça sendo válida. Desta forma, encerra-se sua validade. Entretanto, quando a representação do tempo é realizada por pontos no tempo, se necessita de algo a mais que represente esta exclusão, pois a informação possui apenas um rótulo referente ao tempo de validade e não dois como nos intervalos. Neste caso, sugere-se a inclusão de um atributo que identifique se esta informação permanece logicamente inserida na base ou não, um exemplo, seria a utilização de *null*.

6 GERÊNCIA EM BANCOS DE DADOS TEMPORAIS BITEMPORAIS

Diferentes operações deverão ser executadas quando forem inseridas, atualizadas e/ou removidas informações de um BDT Bitemporal. O tempo de transação é fornecido pelo SGBD quando uma nova informação é inserida e o tempo de validade é fornecido pelo usuário. Neste item, serão apresentadas as possíveis operações em um BDT bitemporal, analisando o que ocorre quando as informações serão inseridas, atualizadas e removidas.

6.1 INSERÇÃO EM UM BANCO DE DADOS TEMPORAL BITEMPORAL

É a primeira definição de um valor para um atributo. Qualquer informação que seja inserida em uma base de dados bitemporal deverá receber seus respectivos TT e TV.

- *Pontos no Tempo*: O usuário deve fornecer um único tempo de validade à informação. O tempo de transação será fornecido pelo SGBD.

- *Intervalo Temporal*: O usuário deve fornecer o tempo de validade inicial e o final da informação que está sendo inserida. O SGBD fornecerá os tempos de transação inicial e final da tupla, sendo que o final somente será fornecido quando uma nova instância, desta informação, for inserida, gerada por uma atualização da base de dados.

- *Elemento Temporal*: Como nos demais tipos de BDs, o elemento temporal é igual ao intervalo temporal, tratando-se da inserção de novas informações à base.

6.2 ATUALIZAÇÃO EM UM BANCO DE DADOS TEMPORAL BITEMPORAL

A atualização em um BDT bitemporal segue as mesmas características apresentadas por um BDT de TV. Entretanto, as informações não serão perdidas ou excluídas da base em resultado a uma atualização, uma vez que o TT fornecido possibilita a distinção de duas ou mais informações que possuam TV iguais. Deste modo, qualquer definição de novo valor é realizada, sendo a semântica dos valores definida pelo TT.

6.3 REMOÇÃO EM UM BANCO DE DADOS TEMPORAL BITEMPORAL

A exclusão em uma base de dados bitemporal ocorrerá quando o usuário encerrar a validade de uma informação. No caso da utilização de intervalos ou elementos, atribuir um valor ao tempo de validade final. No caso de pontos no tempo, deverá ser utilizado um atributo que indique quando a informação está logicamente inserida ou não. Ou seja, a exclusão em um BDT Bitemporal ocorre da mesma forma que em um BDT de tempo de validade.

O tempo de transação permanece o mesmo, pois é o tempo no qual a informação foi inserida na base de dados.

Através deste item, pode-se comparar e definir quais as operações que serão permitidas sobre uma base de dados temporal a ser implementada. O projetista desta base pode definir inserções de informações válidas apenas no presente, no passado, no futuro ou realizar suas próprias combinações.

7 CONCLUSÃO

A implementação de um modelo de dados temporal sobre um BD convencional possibilita a utilização destes modelos, necessários para a melhor representação das aplicações que evoluem com o tempo. Entretanto, a existência de diversos valores para uma mesma propriedade afeta novas definições a serem feitas, levando à execução de ações que garantam a integridade das informações.

Este artigo apresenta uma análise de diversas diferentes situações que podem ocorrer no gerenciamento de BDTs, quando implementadas sobre BDs convencionais. Foram considerados os três tipos de rótulos temporais que podem ser utilizados e, para cada um deles, foi feita uma análise de como gerenciar as operações de inserção, atualização e remoção de informações. Em alguns casos foram identificadas inconsistências, sendo sugeridas algumas ações alternativas para o gerenciador.

Os casos levantados neste artigo podem servir de base para futuras implementações de BDTs sobre BDs convencionais. Uma análise das situações que podem ocorrer pode levar à definição do tipo

de BDT a ser implementado (de tempo de transação, de validade, ou bitemporal) e como podem executadas as operações de manutenção da base de dados. Para limitar os problemas devidos à manutenção dos dados, o projetista pode limitar as inserções de informações apenas no presente, apenas no passado, apenas no futuro ou realizar suas próprias combinações.

A identificação de como devem ser manipuladas as diferentes operações é o primeiro passo para a implementação de um gerenciador temporal, que realmente execute as funções que são esperadas de um banco de dados temporal – armazenar todo o passado das informações, mantendo sua consistência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [ANT 97] ANTUNES, Dante Carlos; HEUSER, Carlos A.; EDELWEISS, Nina. **TempER: uma abordagem para modelagem temporal de banco de dados**. Revista de Informática Teórica e Aplicada. Volume IV. Número 1. Instituto de Informática. UFRGS. 1997.
- [ARR 94] ARRUDA, E. H. P. **Um Modelo de Implementação da Linguagem TF-ORM para o SGBD O₂**. Porto Alegre: CPGCC - UFRGS, 1994. (TI - 408).
- [BAR 99] BARROS, E.; et al. In: **Exame Clínico: consulta rápida**. Porto Alegre: Artmed, 1999. 260p. chap.1, p. 17-25.
- [BRA 94] BRAYNER, Ângelo R.A.; MEDEIROS, Claudia B. Incorporação do tempo em um SGBD orientado a objetos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE BANCOS DE DADOS, 9.,1994, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos, Setembro, 1994.
- [CAV 95] CAVALCANTI, J. M. B et al. Uma abordagem para a implementação de um modelo temporal orientado a objetos usando SGBDs relacionais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE BANCOS DE DADOS, 10.,1995, Recife. **Anais...** Recife: UFPE, Outubro, 1995.
- [CLI 87] CLIFFORD, J.; CROCKER, A. The historical relational data model (HRDM) and algebra based on lifespans. **IEEE Transactions on Software Engineering**, New York, v.14, n.7, July 1988. Trabalho apresentado na International Conference on Data Engineering, 1987, Los Angeles, California.
- [EDE 93] EDELWEISS, N.; Oliveira, J.Palazzo. M. de; PERNECI, B. An Object-Oriented Temporal Model. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED INFORMATION SYSTEMS ENGINEERING - CAISE'93, 5., 1993, Paris. **Proceedings...** Heidelberg: Springer-Verlag, 1993. p.397-415. (Lecture Notes in Computer Science, 685).
- [EDE 94] EDELWEISS, N. Modelagem de Aspectos Temporais de Sistemas de Informação. In: ESCOLA DE COMPUTAÇÃO, 9.,1994, Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 1994.
- [EDE 98] EDELWEISS, N. Bancos de Dados Temporais: Teoria e Prática. In: XVII Jornada de Atualização em Informática, do XVIII Congresso Nacional da Sociedade Brasileira de Computação, v.2. Ed.: H.P. MOURA. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Computação, 1998.
- [ELM 93] ELMASRI, R.; WUU, G.T.J. A temporal model and query language for EER databases. In: **Temporal Databases: Theory, Design, and Implementation**. Bridge Parkway: Benjamin/Cummings, 1993.
- [ETZ 98] ETZION, O.; JAJODIA, S.; SRIPADA, E. (Eds.) **Temporal Databases: Research and Practice**. Berlin: Springer-Verlag, 1998. LNCS1399.
- [HÜB 99] HÜBLER, P.N.; EDELWEISS, N.; CARVALHO, T.P. Implementação de um banco de dados temporal utilizando um SGBD convencional. In: XXV CONFERENCIA LATINOAMERICANA DE INFORMATICA - CLEI'99, 30 agosto a 3 de setembro, 1999. **Anais...** p.99-110.
- [JEN 98] JENSEN, C.S. et al. The Consensus Glossary of Temporal Database Concepts - February 1998 Version. In: *Temporal Databases Research and Practice*. O. Etzion, S. Jajodia and S. Sripada (eds.) Springer-Verlag. Berlin Heidelberg 1998. pp. 367-405.
- [OLI 95] OLIVEIRA, J.P.M. et al. Implementation of an Object-Oriented Temporal Model. In: DATABASE AND EXPERT SYSTEMS APPLICATIONS CONFERENCE - DEXA, 6., 1995, London, U.K. **Proceedings...** [S.l.:s.n.], 1995.
- [ORE 00] ORES, Temporal Databases System. Encontrado na página: <http://www-rocq.inria.fr/verso/publications/sigmod/Theodoulidis:1994:OTD.html>, 2000
- [ÖZS 95] ÖZSOYOGLU, G.; SNODGRASS, R. T. Temporal and real-time databases: a survey. **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, New York, v.7, n.4, p.513-532, Aug.1995.
- [SAR 90] SARDA, N. L. Extensions to SQL for historical databases. **IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering**, v.2, n.2, June 1990.
- [SIM 98] SIMONETTO, Eugênio de Oliveira. **Uma Proposta para a Incorporação de Aspectos Temporais, no Projeto Lógico de Bancos de Dados, em SGBDs Relacionais**. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. 1998.
- [SNO 87] SNODGRASS, R. The Temporal query language Tquel. **ACM Transactions on Database Systems**, New York, v.12, n.2, p.247-298, June 1987.
- [TAN 93] TANSEL, A.U., et al. A Generalized Relational Framework for Modeling Temporal Data. In: **Temporal Databases: Theory, Design, and Implementation**. Bridge Parkway: Benjamin/Cummings, 1993.
- [TAN 97] TANSEL, A.U., TIN, E. The expressive power fo temporal relational query languages. **IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering**, v.9, no.1, January, 1997.
- [TIM 99] TIME DB, A Temporal Relational DBMS. Encontrado na página: <http://www.timeconsult.com/Software/Software.html>
- [TOO 99] TOOBIS - Temporal Objects-Oriented Databases in Information Systems. <http://www.di.uoa.gr/~toobis/Description.html>, 1999.
- [WUU 93] WUU, Gene.T.J; DAYAL, Umeshwar. **Uniform Model for Temporal and Versioned Object-Oriented Databases**. In: **Temporal Databases: Theory, Design, and Implementation**. Bridge Parkway: Benjamin/Cummings, 1993
- [ZAN 97] ZANIOLO, C. et al. **Advanced Database Systems**. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 1997. 574p.