

Sistemas de INFormaçãoS - SBU

Sistemas : INFormaçãoS

Modelagem Temporal

Banco : Dados Temporais

C.N.P.F. 1.03.03.00-6

TempER: uma abordagem para modelagem temporal de banco de dados

Dante Carlos Antunes¹

Carlos A. Heuser²

Nina Edelweiss²

¹Celepar - Cia. de Informática do Paraná

dante@lepus.celepar.br

Caixa Postal 15061 - 80530-010

Curitiba PR

²UFRGS - Instituto de Informática

{heuser, nina}@inf.ufrgs.br

Caixa Postal 15064 - 91501-970

Porto Alegre RS

Abstract

Several temporal extensions to the original entity-relationship (ER) approach have been proposed in literature. A temporal ER model includes temporal ER elements (entities, relationships and attributes). Temporal ER elements are ER elements that vary with the time. A temporal ER model describes a database that stores the history of changes of the temporal ER elements. The temporal extensions proposed in literature have some restrictions. Some of the approaches require all the elements of the model to be temporal, not allowing the use of temporal and not temporal elements at the same time. Other approaches use temporal intervals instead of temporal instants. The semantics of a model based on temporal intervals is more complex if compared to a model based on temporal instants. This complexity results in complex query and manipulation languages. The paper presents the two fundamental concepts in temporal modeling (temporal intervals and temporal instances), discusses temporal modeling approaches and introduces the *TempER* approach, a temporal modeling approach defined to overcome the identified problems.

Keywords:

Temporal modeling, data base, entity-relationship.

Resumo

Várias extensões à abordagem entidade-relacionamento original têm sido propostas com o objetivo de incorporar a possibilidade de modelar propriedades temporais. Estas abordagens, entretanto, apresentam várias restrições. Algumas exigem que o modelo contenha exclusivamente elementos temporalizados, não permitindo a combinação de elementos temporalizados com não temporalizados. Outras trabalham com intervalos de tempo, ao invés de pontos no tempo. Modelos baseados em intervalos de tempo, têm semântica mais complexa e tornam linguagens de consulta e manipulação mais complexas. O presente artigo apresenta os modelos fundamentais de temporalização que aparecem na literatura (intervalos de tempo e pontos de tempo), discute as abordagens para modelagem temporal existentes e apresenta a abordagem *TempER*, modelo de dados temporal que procura corrigir os problemas identificados nas demais abordagens.

Palavras-chave: Modelagem temporal, banco de dados, entidade-relacionamento

1. Introdução

Quando um modelo é construído com a abordagem ER convencional [CHE 76], a associação das entidades e relacionamentos com o tempo materializa-se através da inclusão de atributos comuns que armazenam datas, horas ou qualquer outra referência temporal. Além disso, caso se necessite registrar os diversos valores que um atributo pode apresentar ao longo do tempo, por exemplo os salários de um empregado, existem duas alternativas possíveis: ou se especifica uma nova entidade composta deste atributo e mais os atributos de referência ao tempo, ou se define tal atributo como composto e multivalorado.

Quando atributos que armazenam pontos do tempo são incluídos, é muito comum a necessidade de especificar restrições em relação a eles, tais como as abaixo descritas:

- ao se transferir, em 23/10/96, um empregado para um departamento, o empregado deve apresentar a sua data de admissão menor ou igual a 23/10/96 e não pode estar demitido, isto é, a data de demissão deve conter *null*. Além disso, o departamento deve ter a sua data de criação menor ou igual a 23/10/96 e não pode estar fechado, isto é, a sua data de fechamento deve conter *null*;
- um valor de salário deve ter o seu período de validade contido entre a data de admissão e a data de demissão do empregado, donde se deduz que não deve ser permitido aumentar o salário de um empregado após a sua data de demissão;
- um empregado não pode estar lotado em mais que um departamento, no mesmo ponto do tempo;
- em todos os momentos do tempo que o empregado estiver vinculado à empresa, ele necessariamente deve estar lotado em um departamento, qualquer que seja ele.

O modelo ER convencional por si só não é capaz de especificar as restrições acima, exigindo que isto se faça ao nível da modelagem dinâmica.

Com o objetivo de dotar o modelo ER desta capacidade, algumas extensões temporais têm sido propostas, entre as quais: a abordagem ERT (*Entity Relationship Time Model*) [LOU 91], a abordagem TER (*Temporal Entity-Relationship Model*) [TAU 91] e a abordagem TEER (*Temporal Enhanced Entity-Relationship Model*) [ELM 93] e a sua variante STEER [ELM 92].

Em um modelo de dados convencional, os conjuntos de entidades e relacionamentos apresentam duas dimensões: a primeira refere-se às instâncias (linhas) e a segunda aos atributos (colunas). Em um modelo ER temporal, uma nova dimensão é acrescentada: a dimensão temporal. A forma que tem se mostrado mais adequada de tratar a dimensão temporal em sistemas de informação é assumi-la como uma seqüência discreta, linear e finita de pontos consecutivos no tempo. A esta seqüência de pontos do tempo dá-se o nome de eixo temporal.

Dos modelos acima citados, o modelo TER [TAU 91] é o menos expressivo. Não associa propriamente os objetos modelados à dimensão temporal, ou seja, não oferece uma notação especial para representar entidades, relacionamentos e atributos temporalizados. Concentra-se apenas em desdobrar a representação das cardinalidades dos relacionamentos em cardinalidade *snapshot*, que determina o grau de participação da entidade no relacionamento a cada instante de tempo, e cardinalidade *lifetime*, que determina o grau de participação da entidade no relacionamento, tendo como unidade de referência a existência da entidade como um todo.

Um outro requisito importante a ser preenchido por um modelo de dados que incorpore a dimensão temporal é permitir que em um mesmo diagrama seja possível associar objetos (entidades, relacionamentos ou atributos) temporalizados com objetos não temporalizados. Isto se faz necessário porque em sistemas de informação, normalmente, alguns dados precisam ser explicitamente referenciados em relação ao tempo (a evolução dos salários dos empregados, a alocação de técnico em projetos, ...), e outros não apresentam esta necessidade, ou porque não mudam com o tempo, ou porque é irrelevante ao usuário saber quando os fatos ocorreram (o código de um empregado, a autoria de um artigo, ...). Normalmente os objetos não temporalizados são assumidos como existindo sempre, ou seja, adquirem uma validade temporal, implícita e constante, igual a todo o conjunto de pontos do eixo temporal.

O modelo TEER [ELM 93] não preenche o requisito acima pois assume que todos os objetos são temporalizados, isto é, são válidos por um certo período de tempo, o que simplifica bastante o modelo, mas exige que o modelador tenha que referenciar temporalmente até os dados que não precisam ser temporalizados.

A variante STEER [ELM 92] do modelo TEER, embora distinga os objetos em objetos conceituais e objetos temporais, em função da relação destes com o tempo, também não torna disponível um tratamento adequado aos objetos não temporalizados. Os objetos conceituais, que se caracterizam por uma validade temporal que inicia em um determinado momento e não mais se encerra, ainda continuam sendo temporalizados, pois a sua "existência" é um subconjunto de pontos do eixo temporal.

Dentre os modelos ER temporais acima citados, apenas o modelo ERT [LOU 91] permite mesclar em um mesmo diagrama objetos temporalizados e objetos não temporalizados. Contudo, apresenta alguns aspectos que dificultam o processo de modelagem.

No modelo ERT os atributos são explicitados graficamente, resultando em diagramas bastante carregados (ver figura 2). Esta característica contraria um dos principais objetivos que um modelo gráfico deve perseguir, que é o da facilidade de uso e visualização. Além disto, o modelo ERT utiliza como primitiva temporal o intervalo de tempo que, segundo [GAD 93], se mostra inferior à primitiva conhecida como “elemento temporal”.

O elemento temporal, uma união finita de intervalos de tempo, por ser fechado para as operações de união, interseção e complementação da teoria dos conjuntos, permite uma “substancial simplificação na habilidade do usuário de expressar consultas (*queries*) temporais” [GAD 88, 93].

Uma outra desvantagem dos intervalos de tempos, quando estes são utilizados como rótulos temporais dos objetos, é a necessidade de fragmentar em diversas tuplas os objetos “reencarnados”, uma tupla para cada intervalo de existência. Isto resulta em linguagens de difícil utilização, conforme mostra a comparação encontrada em [GAD 93] entre a linguagem Tquel, que utiliza intervalos, e a linguagem TempSQL, que utiliza elementos temporais.

Com a finalidade de preencher os requisitos acima citados, considerados necessários a uma abordagem ER que pretenda representar os objetos temporalmente, e com a intenção de suprimir os pontos desfavoráveis identificados nas propostas de modelagem temporal pesquisadas na literatura, é proposto neste trabalho o modelo de dados *TempER*.

O modelo TempER permite representar a associação entre elementos temporalizados e não temporalizados. Para tanto adota o pressuposto que todas as entidades, sejam elas temporalizadas ou não, apresentam uma dimensão temporal, ou seja, uma “existência” ou validade temporal. No caso das entidades temporalizadas esta existência é um subconjunto de pontos do eixo temporal. Em virtude disto são chamadas de *entidades transitórias*. Em relação às entidades não temporalizadas, é assumido que “existem” durante todo o eixo temporal, ou seja, a sua validade temporal é constante, implícita e igual a todo o eixo temporal. Por isto são denominadas *entidades perenes*.

Qualquer que seja a classificação de uma entidade em relação ao tempo, seja transitória ou perene, ela sempre vai apresentar duas perspectivas: uma intemporal e uma temporal, como se fossem duas faces de uma mesma moeda (ver figuras 9, 12 e 14). Quando se focaliza os conjuntos de entidades pela perspectiva intemporal, estes apresentam apenas duas dimensões (tuplas x atributos intemporais). Por outro lado, quando se focaliza estes mesmos conjuntos pela perspectiva temporal eles passam a apresentar três dimensões (tupla x atributos temporais x eixo temporal).

No tocante aos relacionamentos, ou as entidades se associam entre si na perspectiva temporal (relacionamentos temporais) ou na perspectiva intemporal (relacionamentos intemporais).

Especificamente em relação à abordagem ERT [LOU 91], que entre as técnicas citadas acima é a que mais se aproxima do modelo TempER, existem as seguintes implementações, que visam suprimir os aspectos considerados desfavoráveis:

- a primitiva temporal utilizada no modelo TempER é o *elemento temporal* e não o intervalo de tempo;

- no modelo TempER os atributos não são explicitados graficamente e sim através de um dicionário de dados associado ao diagrama ER, o que resulta em um modelo mais administrável visualmente.

Em resumo, o modelo de dados TempER apresenta uma série de extensões, em relação ao modelo ER convencional, que o dotam da capacidade de representar os objetos temporalmente.

O artigo está organizado como segue. Na seção 2 são discutidos os conceitos básicos de modelagem temporal, necessários no restante do artigo. A seção 3 é uma visão geral das principais propostas de extensões temporais ao modelo ER que aparecem na literatura. A seção 4 compara os modelos existentes contra uma lista de requisitos considerados necessários a um modelo de dados temporal, justificando a necessidade de uma nova abordagem. A seção 5 apresenta a abordagem TempER, principal contribuição do artigo. Finalmente, a seção 6 apresenta as conclusões do trabalho.

2. Conceitos relativos à dimensão temporal

A presente seção apresenta os conceitos básicos relativos à modelagem de propriedades temporais em banco de dados.

2.1 Eixo temporal *

A forma que se tem mostrado mais adequada de tratar a dimensão temporal em sistemas de informação é assumi-la como uma seqüência discreta, linear e finita de pontos consecutivos do tempo. Esta seqüência também recebe a denominação de *eixo temporal* e é representada no âmbito deste trabalho pela constante **T**.

Na área de estudo dos bancos de dados temporais [TAN 93, CLI 95] normalmente consideram-se duas linhas de tempo ortogonais: o tempo de validade e o tempo de transação. O tempo de validade de um fato, conforme o glossário encontrado em [JCS 94], é o tempo quando o fato é verdadeiro na realidade modelada. Normalmente o tempo de validade é fornecido pelo usuário. O tempo de transação, conforme o mesmo glossário, é quando o fato é registrado no banco de dados, sendo o respectivo rótulo temporal suprido automaticamente pelo sistema gerenciador de banco de dados. Para efeito da ferramenta de modelagem proposta neste trabalho, existe apenas um eixo temporal e este representa o *tempo de validade*. Não é necessário referir-se ao tempo de transação porque os modelos produzidos estão no estágio conceitual, ou seja, não devem especificar aspectos inerentes à implementação física.

Para definir com mais precisão o eixo temporal, lança-se mão da teoria dos conjuntos [ALE 85] como segue.

Seja **T** o conjunto não vazio de todos os pontos do tempo, então por definição **T** é um *conjunto totalmente ordenado* pela relação BEFORE a qual satisfaz à seguinte condição, onde t_a e t_b são pontos do tempo:

$$\forall t_a, t_b : t_a, t_b \in \mathbf{T} \wedge t_a \neq t_b \rightarrow (t_a \text{ BEFORE } t_b \vee t_b \text{ BEFORE } t_a)$$

Para que a relação BEFORE seja uma relação de ordem estrita total é necessário que possua as seguintes propriedades:

Irreflexibilidade:

$$\forall t : t \in \mathbf{T} \rightarrow \neg(t \text{ BEFORE } t)$$

Transitividade:

$$\forall t_a, t_b, t_c : t_a, t_b, t_c \in \mathbf{T} \wedge t_a \text{ BEFORE } t_b \wedge t_b \text{ BEFORE } t_c \rightarrow t_a \text{ BEFORE } t_c$$

Assimetria:

$$\forall t_a, t_b : t_a, t_b \in \mathbf{T} \wedge t_a \text{ BEFORE } t_b \rightarrow \neg(t_b \text{ BEFORE } t_a)$$

A relação BEFORE é equivalente à relação “<” utilizada no âmbito dos números inteiros.

Quando se considera a dimensão temporal como sendo um eixo discreto, assume-se que cada ponto do tempo pertencente a este eixo é atômico e dura exatamente um chronon. O chronon define a granularidade da dimensão temporal. Em um UD (Universo do Discurso) é possível coexistirem diferentes granularidades, por exemplo: em um determinado segmento modelado a granularidade pode ser diária (o chronon equivale a um dia) e em outro segmento a granularidade pode ser mensal. Para efeito do presente trabalho será assumido que o UD apresenta apenas uma única granularidade. Em [CLI 88] encontra-se uma forma de representar as diversas granularidades do calendário e as suas inter-relações.

O conceito de *chronon* e as propriedades acima especificadas estabelecendo que o eixo temporal \mathbf{T} é totalmente ordenado, permitem tratá-lo como sendo isomórfico ao conjunto dos números inteiros. Assim, entre dois pontos do tempo consecutivos não existe outro ponto do tempo. Caso o tempo fosse assumido como isomórfico ao conjunto dos números reais, entre dois pontos sempre existiria um outro ponto.

Os pontos limítrofes do eixo temporal são referenciados através de símbolos especiais. O limite inferior é representado pelo símbolo “«” e o limite superior é representado pelo símbolo “»”.

2.2 Intervalo de tempo

Um intervalo de tempo é um subconjunto de pontos do eixo temporal \mathbf{T} . Por dedução, também é *totalmente ordenado*, pela relação BEFORE, sendo possível, através dos operadores first e last [CLI 88], extrair-lhe o primeiro e o último ponto de tempo. É o que se passa a demonstrar.

Seja \mathbf{I} , um intervalo de tempo e $\mathbf{I} \subseteq \mathbf{T}$, então:

$$\underline{\text{first}}(\mathbf{I}) \text{ é o elemento } t \in \mathbf{I} \text{ tal que, } \forall t' \in \mathbf{I} : t \text{ BEFORE } t' \vee t = t'$$

$$\underline{\text{last}}(\mathbf{I}) \text{ é o elemento } t \in \mathbf{I} \text{ tal que, } \forall t' \in \mathbf{I} : t' \text{ BEFORE } t \vee t' = t$$

Qualquer intervalo de tempo é identificável pelo seus pontos limítrofes que correspondem aos pontos definidos pelos operadores first e last acima definidos. A expressão que representa um intervalo de tempo tem o formato $[t_{\text{FIRST}}, t_{\text{LAST}}]$, onde t_{FIRST} é o primeiro ponto do intervalo e t_{LAST} é o último. O próprio eixo temporal \mathbf{T} pode ser considerado um intervalo de tempo, identificado pela expressão [«, »]. Um intervalo de tempo que dura exatamente um *chronon* apresenta t_{FIRST} igual a t_{LAST} .

Para que um conjunto de pontos do tempo seja realmente considerado um intervalo é necessário que sejam consecutivos, isto é não pode haver qualquer lacuna entre eles. Esta condição é formalmente representada pela expressão abaixo:

Seja $I \subseteq T$ um intervalo,

então, $\forall t_a \in I : t_a \neq \text{last}(I) \rightarrow$

$\exists t_b \in I : (t_a \text{ BEFORE } t_b \text{ } \wedge$

$\neg \exists t_c \in T : t_a \text{ BEFORE } t_c \wedge t_c \text{ BEFORE } t_b)$

2.3 Elemento Temporal

Conforme o glossário produzido por um grupo de especialistas da área de banco de dados temporal [JCS 94], elemento temporal é uma *união finita de intervalos de tempo*. É fechado para as operações de união, interseção e complementação da teoria dos conjuntos, isto é, qualquer destas operações sobre um elemento temporal produz um novo elemento temporal. Como estas operações encontram contrapartida nos operadores booleanos *or*, *and* e *not*, isto produz uma substancial simplificação na habilidade do usuário de expressar consultas temporais [GAD 88, 93]. Dado que todos os intervalos são subconjuntos do eixo temporal T , então, por derivação, um elemento temporal também o é. Um exemplo de elemento temporal é $[25, 40] \cup [51, 70]$. Um intervalo é obviamente um elemento temporal. Um instante t pode ser identificado pelo intervalo unitário $[t, t]$ e assim também é considerado um elemento temporal.

Na ferramenta de modelagem proposta neste trabalho foi adotado o elemento temporal para servir de rótulo do tempo para as entidades, relacionamentos e atributos do modelo de dados. O elemento temporal se mostra superior ao uso da primitiva intervalo de tempo, primeiro porque os intervalos não são fechados para as operações da teoria de conjuntos mencionadas acima, e segundo porque, conforme [GAD 88, 93], quando os intervalos são usados como rótulos temporais os objetos são fragmentados em várias tuplas, uma para cada intervalo. Isto resulta em linguagens de difícil utilização, conforme mostra uma comparação, também encontrada em [GAD 93], entre a linguagem TQuel, que utiliza intervalos, e a linguagem TempSQL, que utiliza elementos temporais. Também a linguagem TSQL2 [SNO 95], que é uma extensão temporal do padrão SQL-92, utiliza o elemento temporal como a primitiva para rotular as tuplas das tabelas.

Através do uso do elemento temporal, a “reencarnação” de objetos [CLI 88a] é implementada com facilidade.

2.4 Assinalamento Temporal

Para capturar a evolução de valores de um atributo, [GAD 93] introduz a noção de assinalamento temporal. Um assinalamento temporal (ou simplesmente assinalamento) de um atributo A é uma função do elemento temporal para $\text{dom}(A)$, o domínio de valores de A . Por exemplo, a expressão $\langle \text{vermelho} [25,32], \text{azul} [33, \infty) \rangle$ é um assinalamento temporal do atributo COR e o seu significado é: a COR foi vermelha durante o intervalo de tempo $[25,32]$ e azul durante os instantes $[33, \infty)$ (33 em diante).

2.5 Domínio Temporal

Conforme [GAD 93], o domínio de um assinalamento λ , denotado $[[\lambda]]$, é chamado de domínio temporal deste assinalamento. Por exemplo, se λ representar o assinalamento acima do atributo *COR*, então $[[\lambda]] = [25, \infty]$.

2.6 Restrição Temporal

A restrição temporal pode ser entendida como uma operação que se faz sobre um assinalamento temporal visando obter um segmento deste. Ou seja, dado o assinalamento temporal λ acima, a expressão $\lambda \upharpoonright \mu$ denota a restrição de λ ao elemento temporal μ . Por exemplo, $\lambda \upharpoonright [29,34]$ é igual a $\langle \text{vermelho} [29,32], \text{azul} [33,34] \rangle$.

3. Modelos Entidade-Relacionamento temporais

Diversos modelos de dados temporais têm sido apresentados na literatura, sendo a maioria constituída de extensões temporais a modelos já existentes. Entre estes podem ser encontrados modelos relacionais, orientados a objetos e, particularmente, modelos ER temporais. Uma visão geral dos principais modelos de dados temporais existentes na literatura pode se encontrada em [EDE 94a, OZS 95, TAN 93].

Os primeiros trabalhos realizados na área de modelagem temporal foram os de incorporar a dimensão temporal a modelos que apresentavam a *abordagem relacional*. Os modelos seguintes modelos relacionais temporais podem ser destacados: o modelo HRDM de Clifford [CLI 87], o modelo de Sarda utilizado para a definição da linguagem de consulta HSQL [SAR 90], o modelo TRDM de Snodgrass, para a definição da linguagem de consulta Tquel [SNO 87], o modelo TRM de Navathe e Ahmed [NAV 89] e os modelos de Tansel [TAN 86], Gadia e Yeung [GAD 88a], e de Lorentzos e Johnson [LOR 88].

Um importante esforço realizado nos últimos anos na área de modelagem temporal foi a definição da linguagem de consulta temporal TSQL2 [SNO 95], a qual se pretende propor como padrão para os bancos de dados relacionais temporais.

Mais recentemente, diversos esforços têm sido realizados no sentido de acrescentar aspectos temporais a *modelos orientados a objetos*. Entre os diversos modelos temporais orientados a objetos propostos estão os seguintes: OODAPLEX de Wu e Dayal [WU 93], OSAM/T de Su e Chen [SU 91], TOODM de Rose e Segev [ROS 91], e TMAD de Käfer e Schöning [KAF 92], além do modelo TF-ORM [EDE 94], que utiliza o conceito de papéis para representar a evolução dinâmica do comportamento de objetos.

Também quanto a modelos *Entidade-Relacionamento*, diversas são as propostas de modelos temporais. Neste trabalho foi feita a opção pela utilização da abordagem Entidade-Relacionamento. Dentre as técnicas de modelagem ER temporal disponíveis na literatura, o presente trabalho concentrou-se em estudar as seguintes:

- o modelo ERT (*Entity Relationship Time Model*) [LOU 91],
- o modelo TEER (*Temporal Enhanced Entity-Relationship Model*) descrito em [ELM 93] juntamente com a sua variante STEER (*Semantic Temporal model based on the Extended Entity-Relationship model*) descrita em [ELM 92], e
- o modelo TER (*Temporal Entity-Relationship Model*) [TAU 91].

A seguir é apresentada uma visão geral destes três modelos.

3.1 O modelo ERT

O modelo ERT (Entity-Relationship-Time) [LOU 91, a, b], a principal fonte inspiradora da proposta TempER apresentada no capítulo 4, é um dos componentes do projeto TEMPORA [LOU 90]. Este modelo de dados oferece uma série de dispositivos que permitem modelar aplicações complexas de banco de dados. Especificamente, ele possibilita a modelagem explícita do tempo e uma taxionomia para tratar hierarquias e objetos complexos, como mostra a figura 1.

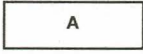



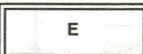
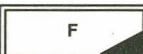
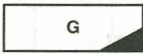

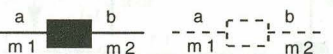
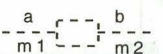
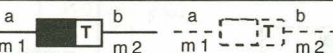
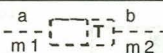


Símbolos utilizados pela abordagem ERT		
Notação Gráfica ERT		Interpretação
		Classe de entidade A e classe de entidade derivada B.
		Classe de entidade C e classe de entidade derivada D com marca de tempo. T é um período de tempo simbólico.
		Classe de entidade complexa E e classe valor complexo F. Modelam agregações de objetos ou atributos.
		Classe de valor simples G e classe de valor derivado H. Podem estar relacionados com nodos do tipo A, B, C, D, E e F. Modelam os atributos.
		Relacionamentos binários que conectam nodos do tipo A, B, C, D, E e F - a e b são nomes de relacionamento (a inverso b), m1 e m2 indicam o mapeamento no formato (x:y) onde x e y são, inteiros não-negativos ou N. As caixas brancas representam relacionamentos derivados.
		Relacionamentos binários com marca de tempo. T é um período de tempo simbólico.
		Relacionamentos ISA - círculo preto: total; círculo branco: parcial. Várias setas apontando para o mesmo círculo indicam subconjuntos disjuntos.

FIGURA 1 - Simbologia do modelo ERT

O conceito mais primitivo em ERT é o de classe que é definido como uma coleção de objetos individuais que possuem propriedades em comum, isto é, são do mesmo tipo. Em um esquema ERT apenas as classes de objetos são especificadas. Em adição, cada relacionamento é visualizado como um conjunto nomeado de dois (entidade ou valor, papel) pares onde cada papel expressa a maneira que uma entidade ou valor específico é envolvido na associação.

A primitiva temporal adotada em ERT é o intervalo de tempo. O período de tempo em que uma entidade é modelada chama-se *período de existência*. O período em que um relacionamento é válido denomina-se *período de validade*. Como mostra a figura 2, as classes são representadas por retângulos, aos quais é anexada uma marca de tempo (a caixa

com a letra T), quando se trata de entidades que variam temporalmente, por exemplo a classe *Funcionário*. As classes de relacionamentos quando são temporais também apresentam esta marca de tempo. Os atributos (sempre mostrados de forma explícita nos diagramas) estão ligados às classes de entidades através de relacionamentos (temporais ou não). É o caso dos atributos *salário* e *nome* da classe *Funcionário* na figura 2.

No tocante aos relacionamentos, os seguintes axiomas se aplicam:

1. uma entidade para participar em um relacionamento deve estar presente na população da classe de entidades especificada no relacionamento. Em adição, o período de validade do relacionamento deve ser um sub-período da interseção dos períodos de existência das entidades associadas;
2. cada entidade da população de uma subclasse tem uma instância correspondente na população de sua superclasse. Além disso, o período de existência da entidade especializada deve ser um sub-período do período de existência da entidade generalizada.

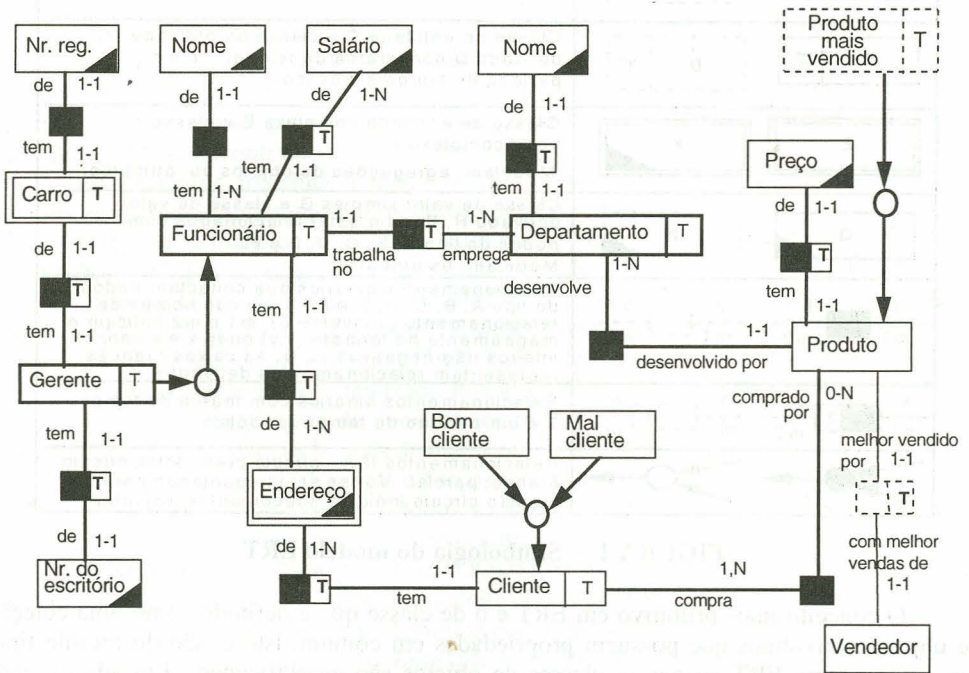


FIGURA 2 - Modelo de dados temporal segundo a abordagem ERT

A modelagem de informações usando períodos de tempo (intervalos) ocorre da forma a seguir. Cada objeto que varia no tempo é associado a uma instância da *classe de períodos simbólicos*. Instâncias desta classe são identificadores únicos gerados pelo sistema (*surrogates*), por exemplo: *SP001*, *SP002*, etc, os quais são relacionados entre si

através de uma das treze relações entre intervalos de tempo especificadas em [ALL 83] (ver figura 3).

Relação entre intervalos	Símbolo (β)	Símbolo inverso ($\beta\tau$)	Ilustração
X <i>before</i> Y	<	>	XXX YYY
X <i>equal</i> Y	=	=	XXX YYY
X <i>meets</i> Y	m	mi	XXXYYY
X <i>overlaps</i> Y	o	oi	XXXX YYYY
X <i>during</i> Y	d	di	XXX YYYYYYY
X <i>starts</i> Y	s	si	XXX YYYYYY
X <i>finishes</i> Y	f	fi	XXX YYYYYY

FIGURA 3 - Relações entre intervalos (períodos) de tempo

A figura 4 mostra através de um metamodelo como a dimensão temporal é tratada em ERT. As duas subclasses subordinadas à classe *PeríodoDeTempo* são disjuntas. Isto porque os períodos simbólicos são usados para modelar informação de tempo relativo, enquanto que os períodos de calendário modelam informação de tempo absoluto. O símbolo β representa o relacionamento temporal (X *before* Y, X *meets* Y, ...) entre os períodos de tempo e o símbolo $\beta\tau$ representa o seu inverso. Além disso, os períodos de tempo iniciam em um *tick* e terminam em um *tick* e possuem uma duração expressa em *ticks*.

É com base principalmente no modelo ERT que se concebeu o modelo TempER apresentado na próxima seção. As principais diferenças entre as abordagens situam-se na simbologia e na primitiva temporal adotada. No modelo TempER procurou-se manter a simbologia original proposta em [CHE 76] e, em relação à primitiva utilizada para especificar o tempo, adotou-se o elemento temporal em vez do intervalo de tempo.

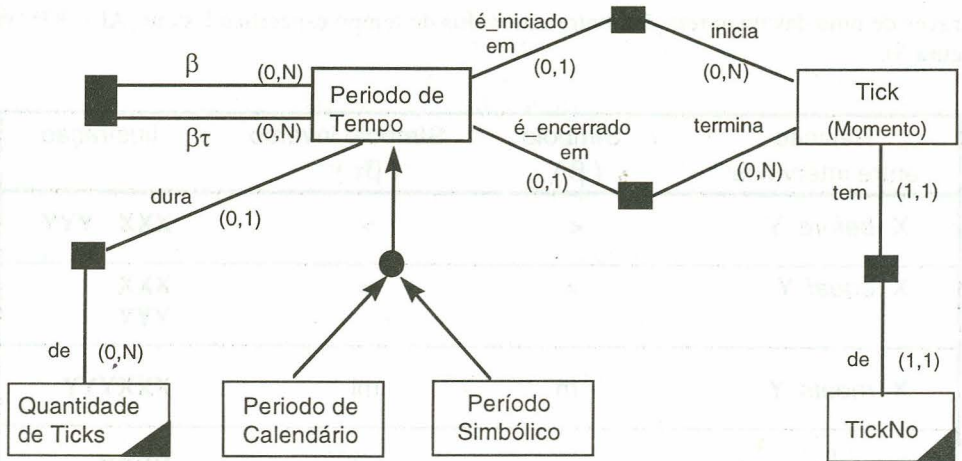


FIGURA 4 - Metamodelo do tempo na abordagem ERT

3.2 O modelo TER

A principal característica do modelo TER (Temporal Entity-Relationship) [TAU 91] é o desdobramento da noção de cardinalidade em *snapshot* e *lifetime*. Diferentemente da abordagem descrita na seção anterior e do modelo proposto neste trabalho, o modelo TER não diferencia, ao nível da notação gráfica, objetos temporais de objetos não temporais.

A cardinalidade *snapshot* define o número de instâncias de um conjunto de entidades alvo que se relacionam com uma determinada instância de um conjunto de entidades fonte em um ponto arbitrário do tempo. A cardinalidade *lifetime*, por outro lado, define o número de instâncias do conjunto de entidades alvo que se relacionam com uma instância do conjunto de entidades fonte, durante todo o tempo de existência da entidade fonte. Cardinalidade *snapshot* e *lifetime* são representadas por valores mínimo e máximo. Por exemplo, a cardinalidade *snapshot* máxima de EMPREGADO para CÔNJUGE (em uma sociedade monogâmica) é 1, a cardinalidade *lifetime* máxima é *n* (se as leis permitirem o divórcio), enquanto que ambas as cardinalidades mínimas são iguais a 0. Ou seja, um empregado pode ter no máximo um cônjuge em um dado momento do tempo, entretanto, ao longo da sua existência, pode ter mais que um.

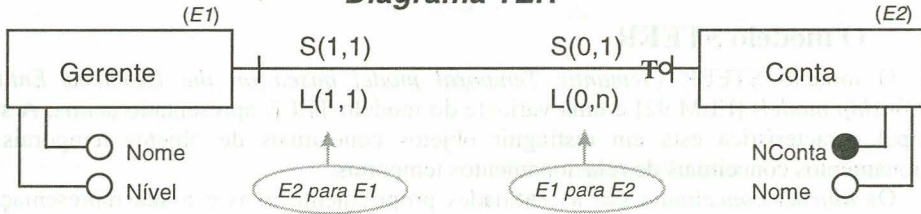
A figura 5 mostra um exemplo de diagrama TER e a respectiva tradução para modelo ER convencional.

O algoritmo para produzir a conversão do modelo TER para ER convencional é o seguinte:

1. uma associação (C) representando a posição corrente das duas entidades relacionadas (E1, E2) é criada. O nome de C é construído pela justaposição dos seus constituintes (E1&E2);
2. o atributo *Início* (um rótulo temporal) é anexado a C;
3. uma associação (H) representando a história das duas entidades relacionadas (E1, E2) é criada. O nome de H é igual ao nome de C mais o prefixo "Histórico-";

4. os atributos *Início* e *Fim* (rótulos temporais) são anexados a H;
5. $\min(E1 \text{ para } C)$ fica igual ao $\min S(E1 \text{ para } E2)$;
6. $\max(E1 \text{ para } C)$ fica igual ao $\max S(E1 \text{ para } E2)$;
7. $\min(E1 \text{ para } H)$ é ajustado para 0;
8. $\max(E1 \text{ para } H)$ fica igual a $\max L(E1 \text{ para } E2)$;
9. os passos 5 a 8 devem ser repetidos para a direção $E2 \text{ para } E1$;
10. o relacionamento (direto) entre $E1$ e $E2$ é eliminado.

Diagrama TER



Tradução para ER convencional

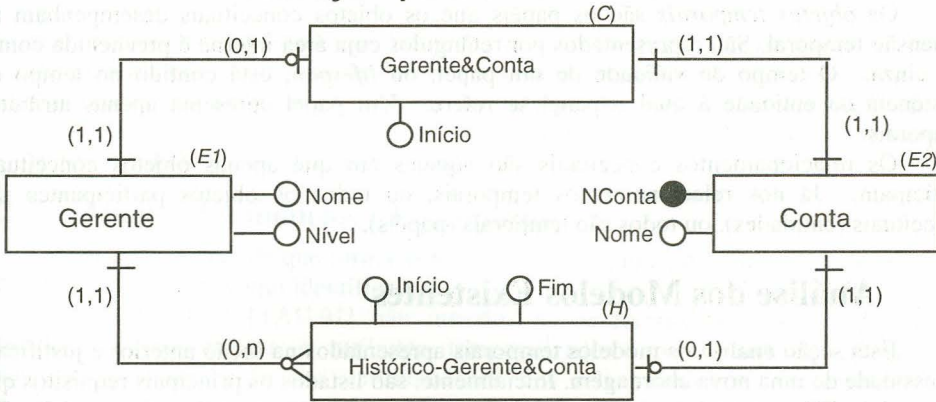


FIGURA 5 - Modelo de dados TER

3.3 O modelo TEER

O modelo TEER [ELM 93] estende o modelo Entidade-Relacionamento incluindo informações temporais nas entidades, relacionamentos, super-classes/sub-classes e atributos. A dimensão temporal dos objetos é representada por um rótulo contendo um elemento temporal, cuja definição encontra-se na sub-seção 2.3. Este rótulo define a existência (*lifespan*) do objeto no mini-mundo modelado.

Em TEER, cada entidade tem um *surrogate* definido pelo sistema que a identifica em relação as demais. O valor deste atributo não é visível ao usuário e não se modifica ao longo da existência da entidade.

Neste modelo todos os objetos *variam no tempo*, não existindo diferenciação entre objetos temporais e não temporais. Assim, não há necessidade de uma notação gráfica especial para denotar a dimensão temporal dos objetos, que fica implícita, bastando a simbologia ER convencional. Embora esta abordagem torne mais simples a modelagem, impede que o analista consiga representar entidades e relacionamentos que não precisam estar associados ao tempo (aquelas que não se quer registrar a evolução histórica).

3.4 O modelo STEER

O modelo STEER (*Semantic Temporal model based on the Extended Entity-Relationship model*) [ELM 92] é uma variante do modelo TEER apresentado acima. A sua principal característica está em distinguir objetos conceituais de objetos temporais e relacionamentos conceituais de relacionamentos temporais.

Os *objetos conceituais* são as entidades propriamente ditas e a sua representação gráfica é um retângulo. O tempo de existência de uma entidade inicia quando esta é introduzida no mini-mundo modelado, e não mais se encerra, visto que um conceito (a entidade) uma vez realizado jamais cessa de existir.

Os *objetos temporais* são os papéis que os objetos conceituais desempenham na dimensão temporal. São representados por retângulos cuja área interna é preenchida com a cor cinza. O tempo de validade de um papel, ou *lifespan*, está contido no tempo de existência da entidade à qual o papel se refere. Um papel apresenta apenas atributos temporais.

Os relacionamentos conceituais são aqueles em que apenas objetos conceituais participam. Já nos relacionamentos temporais, ou todos os objetos participantes são conceituais (entidades), ou todos são temporais (papéis).

4. Análise dos Modelos Existentes

Esta seção analisa os modelos temporais apresentados na seção anterior e justifica a necessidade de uma nova abordagem. Inicialmente, são listados os principais requisitos que um modelo ER temporal deve atender. Em seguida, é feita uma análise dos modelos ER temporais em relação aos requisitos estabelecidos. Por fim, é mostrado de que forma o modelo TempER, proposto no artigo, preenche estes requisitos.

4.1 Requisitos necessários a um modelo ER temporal

Quando se propõe um modelo de dados temporal, é necessário permitir que, em um mesmo diagrama, o modelador possa representar elementos (entidades, relacionamentos ou atributos) temporalizados e elementos não temporalizados. Isto se faz necessário porque normalmente em sistemas de informação, alguns dados precisam ser explicitamente referenciados em relação ao tempo (a evolução dos salários dos empregados, a alocação de técnicos a projetos, etc), e outros não apresentam esta necessidade, pois é irrelevante ao usuário do sistema saber quando os fatos ocorreram (a autoria de um artigo). Portanto, as

principais características que uma técnica de modelagem ER temporal deve apresentar são as seguintes:

1. a dimensão temporal deve estar “embutida” no modelo, ou seja, é assumido que o tempo é um conjunto de pontos implícito, aos quais os objetos se associam. Desta forma, enquanto que no modelo ER convencional os conjuntos de entidades apresentam apenas duas dimensões, a das tuplas e a dos atributos, no modelo ER temporal passam a apresentar três: a das tuplas, a dos atributos e a do tempo;
2. deve oferecer uma notação especial para diferenciar entidades temporalizadas (que estão associadas ao tempo) de entidades não temporalizadas (que não estão associadas com o tempo);
3. deve permitir que uma entidade temporalizada se associe com uma entidade não temporalizada;
4. deve permitir que um relacionamento entre entidades possa ser definido como temporalizado ou como não temporalizado, não importando qual seja a classificação temporal destas entidades;
5. deve permitir que em uma mesma entidade possam conviver atributos temporalizados e atributos não temporalizados;
6. a restrição de cardinalidade que define o grau de participação de uma entidade em um conjunto de relacionamentos temporalizados deve considerar os pontos do tempo. Por outro lado, em se tratando de conjunto de relacionamentos não temporalizados, a cardinalidade não deve levar em conta os pontos do tempo, mantendo a mesma semântica do modelo ER convencional.

4.2 Análise dos modelos ER temporais

A tabela 1 mostra de que forma as técnicas ER temporais descritas na seção anterior preenchem os requisitos aqui identificados.

O modelo TER [TAU 91] não introduz novas formas gráficas de representar entidades, relacionamentos e atributos temporalizados, concentrando-se apenas em desdobrar a representação das cardinalidades dos relacionamentos em cardinalidade *snapshot*, que determina o grau de participação da entidade no relacionamento a cada instante de tempo, e cardinalidade *lifetime*, que determina o grau de participação da entidade no relacionamento, tendo como unidade de referência a existência da entidade como um todo.

O modelo TEER [ELM 93] assume que todos os objetos são temporalizados, isto é, são válidos por um certo período de tempo, o que simplifica bastante o modelo, mas exige que o modelador tenha que referenciar temporalmente até os dados que não precisam ser temporalizados. A variante STEER [ELM 92] amplia a capacidade do modelo TEER ao distinguir objetos conceituais de objetos temporais, e relacionamentos conceituais de relacionamentos temporais. Entretanto, um objeto conceitual, cuja existência uma vez realizada jamais cessa, isto é, possui um momento inicial mas não um final, também apresenta uma referência ao tempo, não podendo ser considerado como não temporalizado.

O modelo ERT [LOU 91] é o único dos modelos pesquisados que permite modelar elementos temporalizados e não temporalizados, assumindo que os objetos não temporalizados são de existência permanente.

TABELA 1 - Características consideradas importantes a um modelo ER Temporal

Características buscadas em um modelo ER temporal	TER [TAU 91]	TEER [ELM 93]	STEER [ELM 91]	ERT [LOU 91a]
1. Dimensão temporal embutida no modelo (conjunto implícito de pontos do tempo).	Não contempla	SIM	SIM	SIM
2. Notação diferenciando objetos temporalizados de objetos não temporalizados.	Não	Não	Em termos	SIM
3. Permite relacionar entidade temporalizada com entidade não temporalizada.	Não se aplica	Não se aplica	Em termos	SIM
4. Permite modelar relacionamentos temporalizados e não temporalizados entre entidades.	Em termos	Não se aplica	Em termos	SIM
5. Permite mesclar em uma mesma entidade atributos temporalizados e não temporalizados.	Não	Não	Em termos	SIM
6. Cardinalidade da participação em relacionamento temporalizado referenciando um ponto do tempo.	SIM	SIM	SIM	SIM

Embora o modelo ERT [LOU 91] atenda a todos os requisitos considerados necessários a um modelo ER temporal, apresenta os aspectos abaixo considerados inadequados, principalmente quando se deseja integrar ao modelo de dados um modelo de transações, como é o caso da abordagem proposta em [ANT 97]:

- o modelo ERT utiliza como rótulo temporal o intervalo de tempo, o que implica na necessidade de fragmentar em diversas tuplas os objetos “reencarnados”, uma tupla para cada intervalo de existência. Esta fragmentação não seria necessária caso o *elemento temporal* tivesse sido escolhido como rótulo temporal;
- no modelo ERT, os atributos são representados graficamente, através de retângulos e são ligados às entidades através de relacionamentos. Em aplicações de grande porte isto pode resultar em diagramas bastante poluídos.

4.3 Uma proposta para atender os requisitos

Visando tornar disponível um modelo ER temporal que preenchesse todos os requisitos listados na tabela 1, bem como evitasse os aspectos considerados desfavoráveis no modelo ERT, acima descritos, concebeu-se o modelo TempER. O modelo TempER pode ser entendido como uma adequação do modelo ERT, no sentido de proporcionar uma integração mais facilitada com a modelagem de transações [ANT 97].

No estágio atual do modelo TempER não se adotou os conceitos de classes derivadas e de objetos complexos, disponíveis no modelo ERT, ficando esses para uma futura avaliação.

Em uma visão geral, as principais características do modelo de dados TempER são as seguintes:

- oferece uma simbologia que diferencia elementos temporalizados de elementos não temporalizados;
- permite que se associe em um mesmo diagrama entidades temporalizadas com não temporalizadas. Para tanto, é assumido que as entidades não temporalizadas também apresentam uma dimensão temporal implícita, igual a todo o conjunto de pontos do eixo temporal. Desta forma o adjetivo “não temporalizado” deixa de ter aplicação, passando-se a utilizar o adjetivo “perene” para tal tipo de entidade. Quanto às entidades temporalizadas, por se tratar de objetos cujo período de validade é um subconjunto de pontos do eixo temporal, adota-se o adjetivo “transitórias” para qualificá-las;
- qualquer que seja a classificação das entidades em relação ao tempo, sejam elas perenes ou transitórias, ortogonalmente sempre apresentam duas perspectivas: uma intemporal e uma temporal (ver figuras 9, 12 e 14). Quando se focaliza os conjuntos de entidades pela perspectiva intemporal estes apresentam apenas duas dimensões (tuplas x atributos intemporais). Por outro lado, quando se focaliza estes mesmos conjuntos pela perspectiva temporal eles apresentam três dimensões (tupla x atributos temporais x eixo temporal);
- no tocante aos relacionamentos, ou as entidades se associam entre si na perspectiva temporal (relacionamentos temporais) ou na perspectiva intemporal (relacionamentos intemporais), conforme mostra a figura 15;
- possibilita que as restrições de cardinalidade levem em consideração os momentos do tempo de validade de um relacionamento temporal;
- adota como primitiva temporal o elemento temporal e não o intervalo de tempo. O elemento temporal (uma união finita de intervalos de tempo) por ser fechado para as operações de união, interseção e complementação, permite uma “substancial simplificação na habilidade do usuário de expressar consultas temporais” [GAD 88, 93];
- faz uso de um dicionário de dados para descrever os atributos, evitando que estes sejam explicitados graficamente. Isto contribui para tornar os diagramas mais administráveis visualmente.

As características acima listadas, bem como outros aspectos do modelo de dados TempER, serão aprofundados nas próximas seções deste capítulo.

Para dar consistência à semântica do modelo TempER, os seus vários aspectos encontram-se precisamente especificadas em [ANT 97] através de mapeamento para rede de Petri de alto nível [HEU 90, 92, 93].

5. O modelo de dados temporal TempER

Antes de iniciar a descrição das características do modelo TempER é importante ter em mente o que significa *existência* - ou validade temporal - no âmbito do presente trabalho. Existência de uma entidade nada mais é que o conjunto de pontos do tempo em que esta entidade é considerada como válida para efeito de inferências temporais no banco de dados. Não se deve confundir *existência* com a presença física da entidade no banco de dados, ou seja, uma entidade pode estar presente no banco de dados e em relação a um determinado ponto do tempo "não existir".

O modelo TempER é um modelo de dados do tipo Entidade-Relacionamento que incorpora dispositivos que permitem referenciar os objetos (entidades, relacionamentos ou valores de atributos) à dimensão temporal.

No modelo TempER, a dimensão temporal é assumida como sendo um eixo de pontos discretos, isomórfico ao conjunto dos números inteiros, como já foi definido anteriormente.

Assim como o modelo ER convencional, o modelo TempER apresenta também os seguintes elementos básicos: entidade, relacionamento e atributos.

Um grupo de entidades de mesma natureza e com a mesma estrutura de atributos, é denominado de *conjunto-entidade* e é este conjunto que se simboliza graficamente no diagrama. Um exemplo é o conjunto-entidade *Empregado* da figura 6, que representa todos os empregados de uma certa empresa. Da mesma forma, um grupo de relacionamentos com as mesmas características (mesmos conjuntos-entidade associados e mesma finalidade) é denominado de *conjunto-relacionamento*. Por exemplo, todas as lotações existentes de empregados em departamentos são simbolizadas pelo conjunto-relacionamento *Lotação* da figura 6. Em resumo, no contexto deste trabalho, entidade é uma instância de um conjunto-entidade e relacionamento é uma instância de um conjunto-relacionamento.

Os atributos são propriedades das entidades e relacionamentos. A associação de um atributo com um valor, do domínio de valores deste atributo, é chamada, no contexto deste trabalho, de valoração de um atributo ou atribuição de valor a uma propriedade. Os domínios são conjuntos predeterminados e constantes de valores primitivos.

Quando um atributo de uma entidade é especificado como sendo temporal, está se referindo apenas à valoração deste atributo, ou seja ao seu conteúdo. A temporalização da propriedade em si, isto é a especificação de quando esta propriedade passa a fazer parte ou deixar de fazer parte da estrutura do objeto foge do escopo do presente trabalho, é um assunto a ser tratado no âmbito da evolução de esquemas [CAS 95, EDE 95].

Aos objetos de uma aplicação que forem especificados como temporalizados, sejam eles entidades, relacionamentos ou valoração de atributos, são implicitamente anexados rótulos temporais, que conterão o conjunto de pontos do tempo nos quais estes objetos são considerados como existentes no contexto da realidade modelada. O rótulo temporal tilizado no modelo TempER tem o formato do elemento temporal.

Para ilustrar os conceitos acima descritos, tome-se como exemplo um modelo de dados contendo dois conjuntos-entidade, *Empregado* e *Depto*, e mais um conjunto-relacionamento, denominado *Lotação*, associando estes dois conjuntos-entidade. Suponha-se que esta associação deva obedecer à seguinte restrição: um empregado obrigatoriamente

deve estar lotado a um departamento em cada momento da sua existência como empregado, não podendo estar lotado em mais de um departamento ao mesmo tempo. Um outro requisito seria a necessidade de representar as possíveis lotações que um empregado pode apresentar ao longo do tempo em função das suas transferências de um departamento para outro.

A figura 6 apresenta o caso acima descrito, modelado em ER convencional e em TempER. No ER convencional não é possível especificar a restrição que determina que um empregado não pode estar lotado em mais de um departamento em cada momento do tempo. A cardinalidade "(1, N)", que aparece na ligação entre Empregado e Lotação, especifica que um empregado deve estar associado a no mínimo um departamento, podendo estar associado a mais de um (adota-se a forma de indicar a cardinalidade encontrada em [BAT 92] que determina o grau de participação mínima e máxima de uma entidade em um conjunto de relacionamentos).

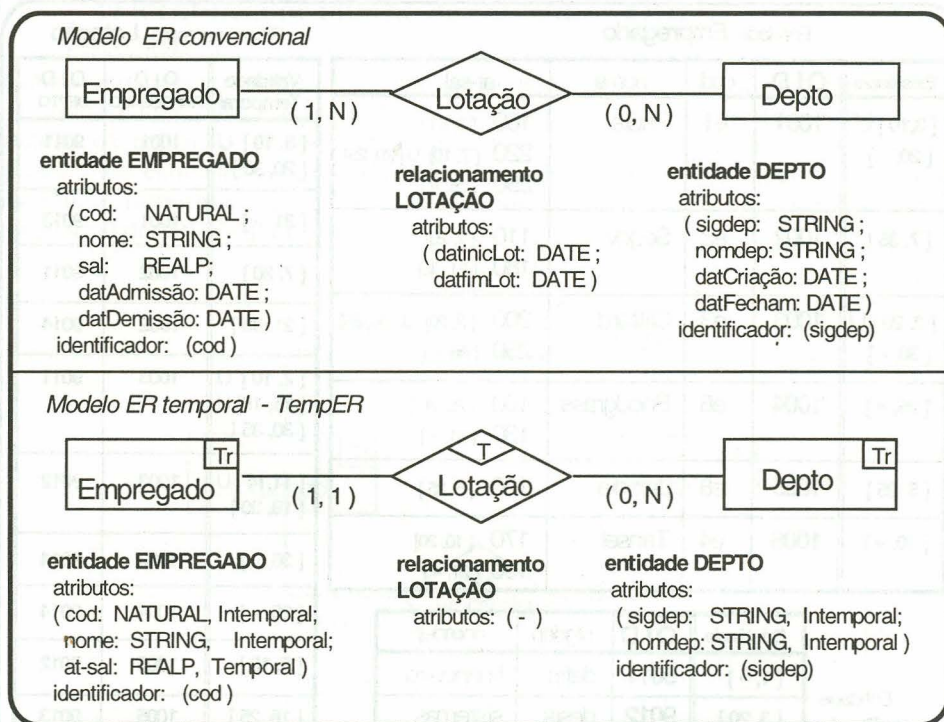


FIGURA 6 - Comparação entre ER convencional e TempER

Em virtude de o modelo ER convencional não dispor de primitivas de modelagem para representar a associação dos objetos com a dimensão temporal, o modelador refere-se ao tempo através de atributos comuns, tais como *datAdmissão*, *datDemissão*, *datinicLot*, *datfimLot*, *datCriação*, *datFecham* encontrados na figura 6. Isto implica em transferir para a modelagem dinâmica a responsabilidade de tratar as restrições temporais, ou seja, no caso

do exemplo em questão, são as transações do sistema que devem se preocupar em impedir que um empregado possa estar lotado em dois ou mais departamentos ao mesmo tempo.

Este problema deixa de existir quando se utiliza o modelo TempER. Como pode ser visto no diagrama situado na parte inferior da figura 6, a cardinalidade que aparece na ligação entre *Empregado* e *Lotação* agora é "(1, 1)", a qual tem o seguinte significado: um empregado participa do conjunto-relacionamento *Lotação* no mínimo uma vez e no máximo uma vez a cada momento do tempo. Além disto, os atributos referindo-se a pontos do tempo que estavam no diagrama ER convencional deixam de ser necessários, pois são substituídos por rótulos temporais implícitos.

Para um melhor entendimento do diagrama TempER da figura 6, pode ser consultado o exemplo de povoamento do modelo mostrado na figura 7.

Entidade Empregado					Relacionamento Lotação		
Existência	OID	cod	nome	at-sal	Validade Temporal	OID EMPREGADO	OID DEPTO
[3,10] U [20, »]	1001	e1	Gadia	180 [3, 6] 220 [7, 10] U [20, 25] 250 [26, »]	[3, 10] U [20, 30]	1001	9011
[7, 35]	1002	e2	Segev	110 [7, 20] 180 [21, 35]	[31, »]	1001	9013
[7, 20]					[7, 20]	1002	9011
[2, 20] U [30, »]	1003	e3	Clifford	200 [2, 20] U [30, 35] 250 [36, »]	[21, 35]	1002	9014
[25, »]	1004	e6	Snodgrass	100 [25, 30] 130 [31, »]	[2, 10] U [15, 18] U [30, 35]	1003	9011
[5, 25]	1005	e8	Jajodia	100 [5, 25]	[11, 14] U [19, 20]	1003	9012
[10, »]	1006	e4	Tansel	170 [10, 20] 190 [21, »]	[36, »]	1003	9014
					[25, »]	1004	9014
					[5, 15]	1005	9012
					[16, 25]	1005	9013
					[10, 20]	1006	9012
					[21, »]	1006	9014

Existência	OID	sigdep	nomdep
[1, »]	9011	defin	financeiro
[3, 20]	9012	desis	sistemas
[10, »]	9013	depro	produção
[21, »]	9014	deinf	informática
[7, 30]	9015	demat	materiais

Entidade **Depto**

FIGURA 7 - Exemplo de povoamento de entidades e relacionamento em TempER

Uma outra vantagem em relação ao modelo ER convencional diz respeito ao conceito de reencarnação de objetos. Um empregado que foi demitido pode ser readmitido, um empregado que tenha sido alocado a um determinado departamento pode vir a ser realocado a este mesmo departamento em um outro período de tempo. O modelo TempER representa estas situações de forma natural, pois admite que a existência de um objeto possa ser segmentada em intervalos de tempo, como é o caso do empregado 1001 e do relacionamento <1003, 9011> encontrados na figura 7.

O modelo TempER também permite que se mescle objetos de diferentes classificações temporais em um mesmo diagrama, como mostra a figura 8, onde um conjunto-entidade do tipo perene (*Função*) relaciona-se com um conjunto-entidade do tipo transitório (*Empregado*) de duas formas: uma temporalmente (*Alocação*) e outra intemporalmente (*Preferência*).

5.1 O identificador interno de entidades - OID

É assumido que todas as instâncias dos conjuntos-entidade, e apenas dos conjuntos-entidade, possuem um identificador interno, gerado pelo sistema, que será denominado de OID (object identifier). Cada OID, por princípio, é único no âmbito do universo do discurso da aplicação, é invisível ao usuário e define a identidade de uma entidade. Quando duas entidades se associam, este fato pode ser representado pelo relacionamento dos OID's respectivos. Isto faz com que um relacionamento seja identificável pela composição dos OID's das entidades associadas.

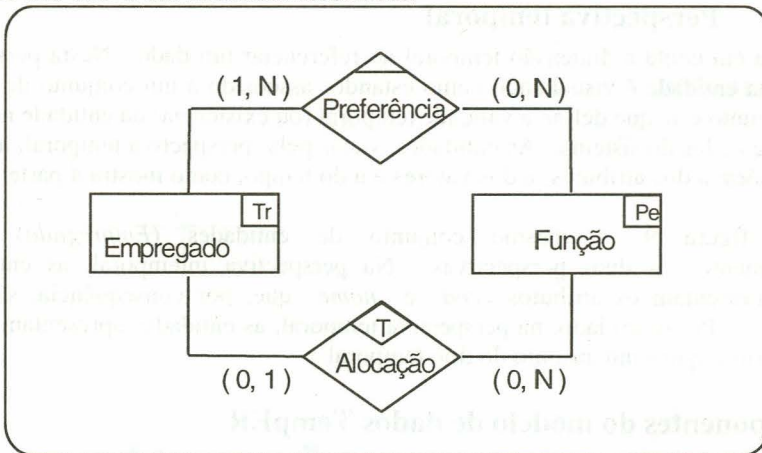


FIGURA 8 - Mesclando objetos de diferentes classificações temporais em um mesmo diagrama

A presença do OID não descarta a necessidade de que haja um atributo (ou composição de atributos) que desempenhe o papel de chave primária de uma entidade, de forma que um usuário do sistema possa identificar e acessar esta entidade, já que o OID é invisível externamente. Embora possa parecer redundante coexistirem OID's e chaves primárias, o que se busca é aproximar o modelo TempER de um dos mais importantes

princípios da orientação a objetos, o da identidade dos objetos [KHO 86]. Além disso, existe a vantagem de ser possível alterar a chave primária de uma entidade sem que isto afete os relacionamentos em que ela participe.

A título de exemplo pode-se examinar a figura 7, onde tanto a tabela *Empregado* como a tabela *Depto*, possuem uma coluna referente ao OID, e a tabela referente ao conjunto-relacionamento *Lotação* possui duas colunas de OID's referentes aos conjuntos-entidade relacionados.

5.2 As perspectivas temporal e intemporal das entidades

As entidades são os elementos básicos de um modelo de dados que empregue a abordagem Entidade-Relacionamento. No modelo TempER, em virtude da dimensão temporal, as entidades apresentam sempre duas perspectivas, uma perspectiva temporal e uma perspectiva intemporal, como se fossem as duas faces de uma mesma moeda.

5.2.1 Perspectiva intemporal

Não leva em consideração a dimensão temporal, isto é, o OID da entidade não é visualizado como associado a um conjunto de pontos do tempo. Nesta perspectiva as entidades apresentam apenas duas dimensões: a dos atributos e a dos valores. É o que mostra a parte superior da figura 9.

5.2.2 Perspectiva temporal

Leva em conta a dimensão temporal ao referenciar um dado. Nesta perspectiva, o OID de uma entidade é visualizado como estando associado a um conjunto de pontos do tempo, conjunto este que define a validade temporal (ou existência) da entidade no contexto do banco de dados do sistema. As entidades, vistas pela perspectiva temporal, apresentam três dimensões: a dos atributos, a dos valores e a do tempo, como mostra a parte inferior da figura 9.

Na figura 9, o mesmo conjunto de entidades (*Empregado*) apresenta simultaneamente as duas perspectivas. Na perspectiva intemporal, as entidades do conjunto apresentam os atributos *cod* e *nome* que, por consequência, são do tipo intemporal. Por outro lado, na perspectiva temporal, as entidades apresentam o atributo *at-sal* (salário), que é um atributo do tipo temporal.

5.3 Componentes do modelo de dados TempER

Na proposta de notação dos elementos gráficos do modelo TempER buscou-se manter os símbolos originais propostos em [CHE 76], adicionando-lhes apenas os sinais necessários para determinar qual é o tipo de relação destes elementos com a dimensão temporal. Portanto, a representação de um conjunto-entidade continua sendo um retângulo e a representação de um conjunto-relacionamento continua sendo um losango. A figura 10 mostra a simbologia gráfica básica utilizada no modelo TempER.

O modelo ER temporal de uma aplicação para estar completo precisa apresentar, além do diagrama entidade-relacionamento, a descrição dos atributos dos objetos

modelados. Isto é feito através do dicionário de dados, como é mostrado no diagrama que está na parte inferior da figura 6.

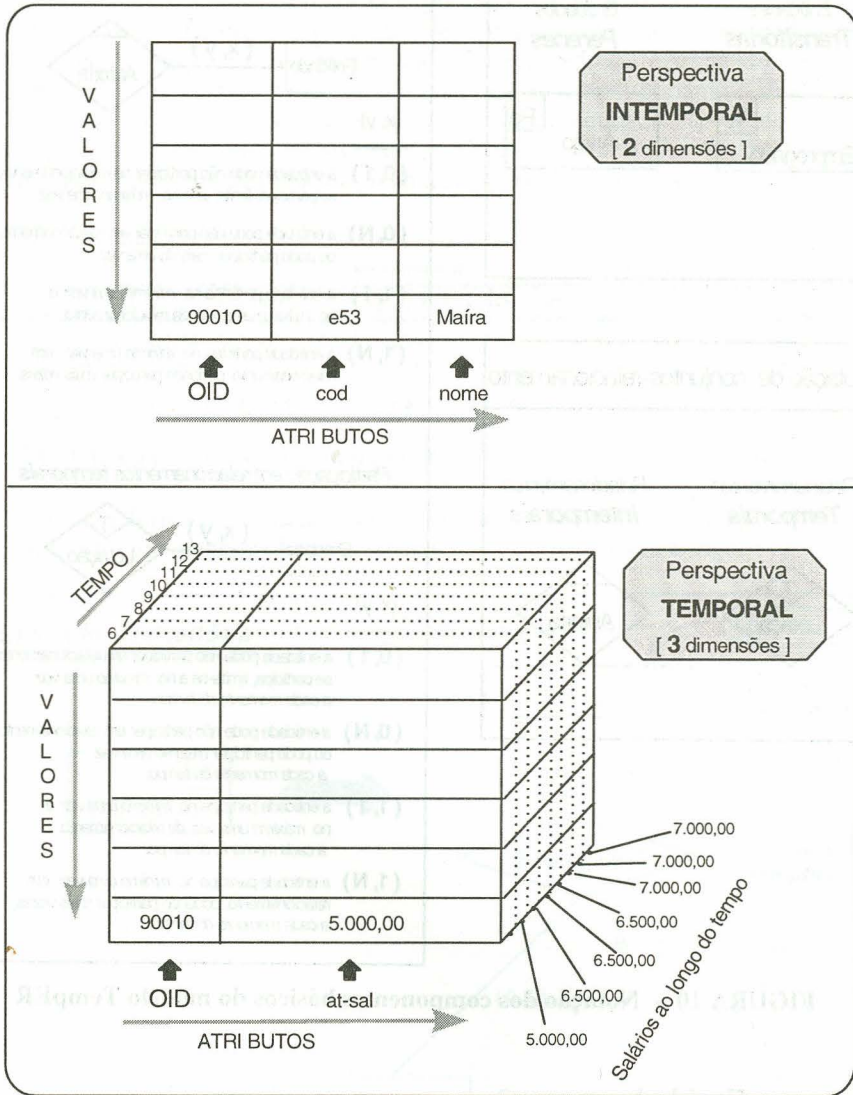


FIGURA 9 - As duas perspectivas em relação ao tempo do conjunto-entidade *Empregado*

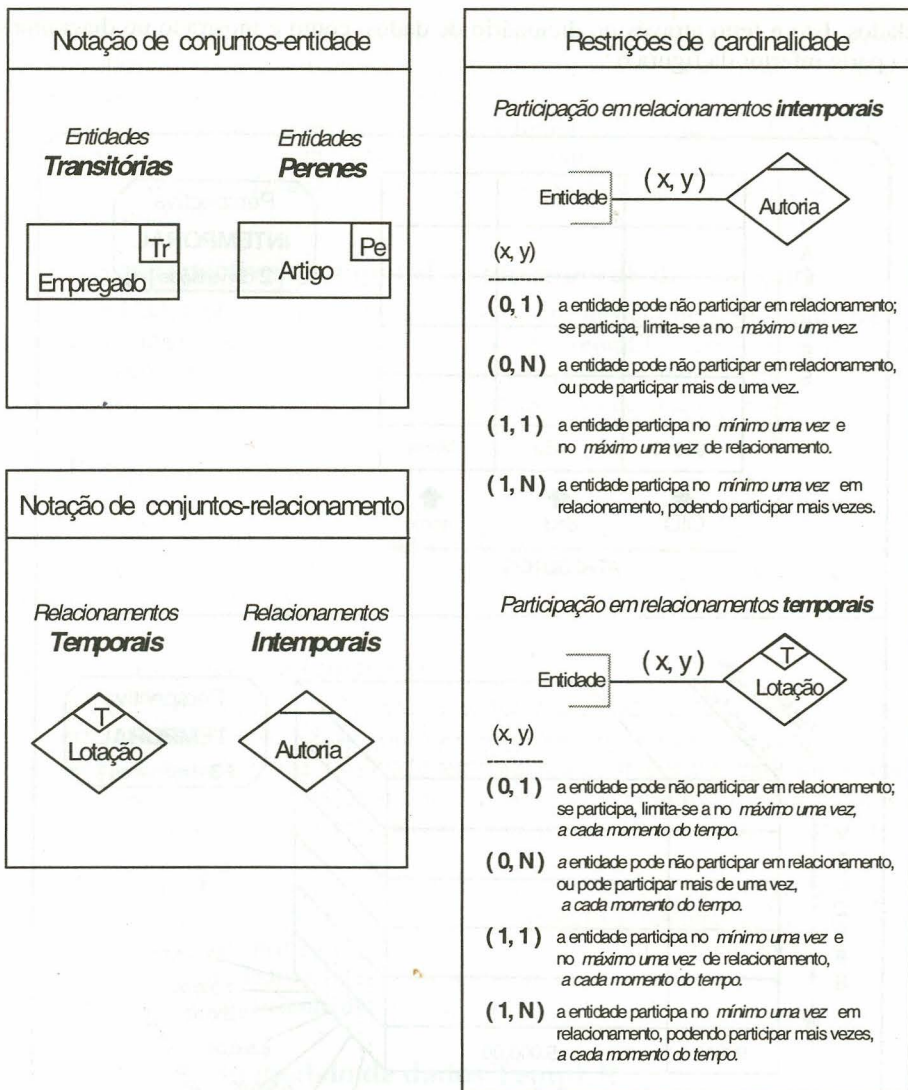


FIGURA 10 - Notação dos componentes básicos do modelo TempER

5.3.1 Entidades

As entidades no modelo TempER são classificadas em transitórias e perenes, conforme a sua relação com a dimensão temporal.

5.3.1.1 Entidades Transitórias

Entidades transitórias são aquelas cuja validade temporal é um subconjunto de pontos do tempo do eixo temporal. Normalmente lança-se mão deste tipo de entidade quando se quer modelar entidades que valem por um certo período de tempo. Por exemplo: os empregados de uma companhia que *existem* como tal desde a sua admissão até a sua demissão. Como é possível haver readmissão de empregados, a *existência* de uma destas entidades pode ser composta por mais de um intervalo de tempo, portanto o subconjunto de pontos do tempo que define a validade temporal de uma entidade não necessariamente é formado por momentos consecutivos. Isto é ilustrado pela figura 11, onde um certo empregado *emp1* apresenta três vínculos com a empresa ao longo do tempo.

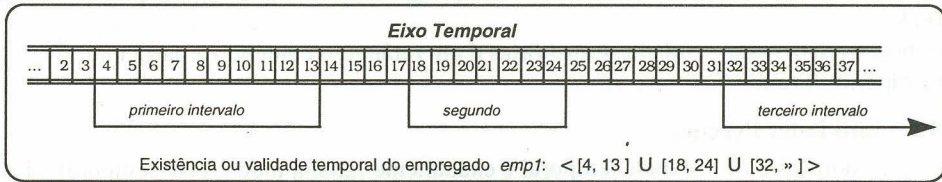


FIGURA 11 - Visualização da *existência* de uma entidade transitória

Uma outra forma de visualizar o que seja uma entidade transitória é através do seu mapeamento para um diagrama ER convencional, conforme mostra a figura 12.

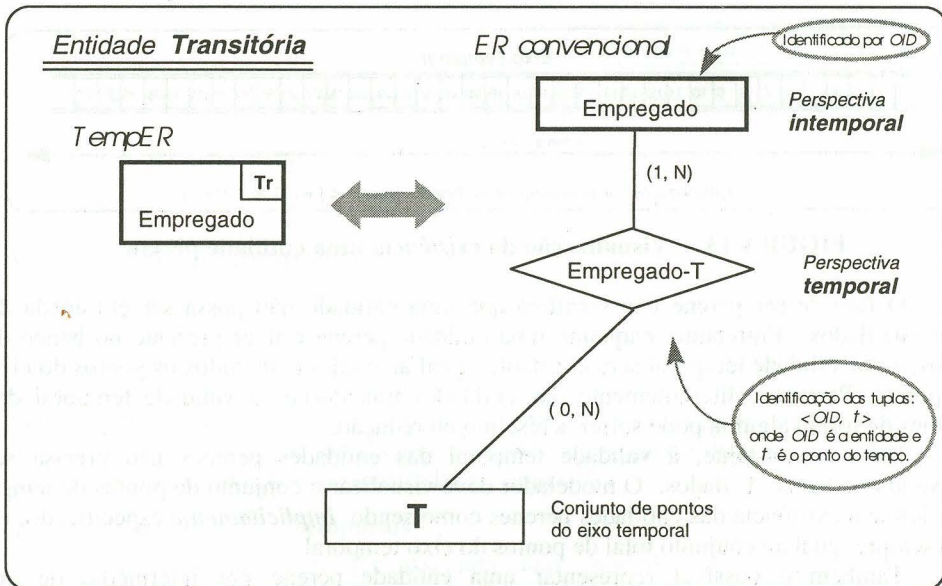


FIGURA 12 - Mapeamento de entidade transitória para ER convencional

O diagrama ER convencional da figura 12, cuja finalidade é mostrar de que forma uma entidade transitória relaciona-se com a dimensão temporal, apresenta um conjunto-entidade especial que contém todos os pontos do eixo temporal: o conjunto **T**. Cada empregado está associado a no mínimo um destes pontos do tempo, podendo estar associado a mais de um. O conjunto-relacionamento *Empregado-T* contém uma instância para cada ponto do tempo da validade temporal de cada empregado que esteja presente no conjunto-entidade *Empregado*.

Como é demonstrado em [ANT 97], é possível através das transações do sistema ampliar ou reduzir a validade temporal das entidades transitórias. Em outras palavras, como resultado do funcionamento do sistema, subconjuntos de pontos do tempo podem ser adicionados ou retirados da *existência* deste tipo de entidade. É dessa possibilidade de modificar a validade temporal que advém o qualificativo “transitórias” aplicado a estas entidades.

O símbolo para denotar entidades transitórias é um retângulo contendo a partícula “Tr” no canto superior direito.

5.3.1.2 Entidades Perenes

São aquelas cuja validade temporal é exatamente igual a todo o eixo temporal. Toda a vez que uma entidade perene é incluída no banco de dados do sistema, assume-se que seu rótulo temporal é igual a “[<, >]”, isto é, a sua validade temporal inicia no primeiro ponto do eixo temporal e se estende até o último, conforme ilustra a figura 13. Normalmente as entidades que o modelador não necessita ou não deseja associar ao tempo são consideradas como perenes.



FIGURA 13 - Visualização da existência de uma entidade perene

O fato de ser perene não significa que uma entidade não possa ser eliminada do banco de dados. Entretanto, enquanto uma entidade perene estiver presente no banco de dados, a sua validade temporal será constante, igual ao conjunto de todos os pontos do eixo temporal. Portanto, diferentemente das entidades transitórias, a validade temporal das perenes de forma alguma pode sofrer acréscimo ou redução.

Por ser constante, a validade temporal das entidades perenes não precisa ser registrada no banco de dados. O modelador deve visualizar o conjunto de pontos de tempo que define a existência das entidades perenes como sendo *implicitamente* especificado, ou seja sempre igual ao conjunto total de pontos do eixo temporal.

Também é possível representar uma entidade perene por intermédio de um mapeamento para diagrama ER convencional. É o que mostra a figura 14, onde para cada

instância do conjunto entidade *Função*, o conjunto-relacionamento *Função-T* apresenta tantas tuplas $\langle \text{OID}, t \rangle$ quantos forem os pontos do tempo do eixo temporal.

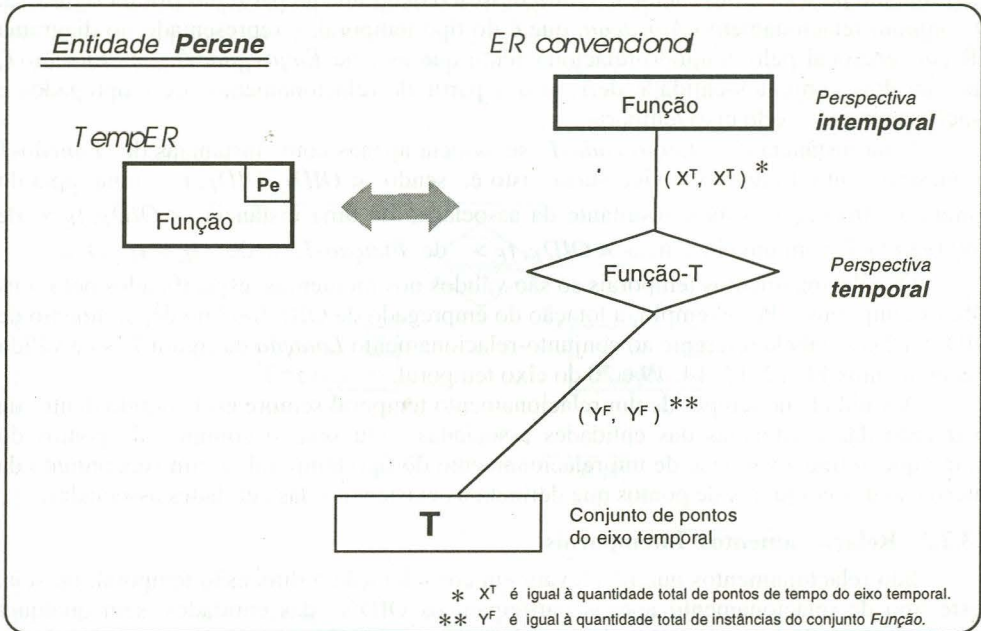


FIGURA 14 - Mapeamento de entidade perene para ER convencional

O símbolo para denotar entidades perenes é um retângulo contendo a partícula “Pe” no canto superior direito.

5.3.2 Relacionamentos

Relacionamentos são objetos resultantes da associação de duas ou mais entidades. No modelo TempER as entidades podem estar associadas entre si, ou na perspectiva temporal, ou na perspectiva intemporal. Quando estão relacionadas na perspectiva temporal, este fato é simbolizado por um losango contendo no seu canto superior um pequeno losango com a letra “T”. Quando estão relacionadas na perspectiva intemporal, a simbolização se dá através de um losango contendo um pequeno risco horizontal no canto superior. Estas duas notações são mostradas na figura 10.

5.3.2.1 Relacionamentos Temporais

São os relacionamentos que associam duas entidades no âmbito da dimensão temporal, isto é, além dos OID’s das entidades, estes relacionamentos também se associam a pontos do tempo do eixo temporal. Este tipo de relacionamento serve para modelar as

associações das quais se necessita conhecer a validade temporal. É o caso de *Alocação* que está no diagrama da parte superior da figura 15, de cujas instâncias se quer saber quando iniciaram e quando encerraram.

Uma forma de visualizar os relacionamentos temporais é através do seu mapeamento para ER convencional, como mostra o diagrama da parte inferior da figura 15. O conjunto-relacionamento *Alocação*, que é do tipo temporal, é representado no diagrama ER convencional pelo conjunto-relacionamento que associa *Empregado-T* e *Função-T*, que são dois conjuntos-entidade derivados a partir de relacionamentos de empregados e funções com pontos do eixo temporal.

Uma instância de *Empregado-T* se associa apenas com instâncias de *Função-T* de mesmo ponto do tempo, e vice-versa, isto é, sendo $\langle \text{OID}_E, \text{OID}_F, t \rangle$ uma tupla do conjunto *Alocação*, esta é resultante da associação de uma instância $\langle \text{OID}_E, t_E \rangle$ de *Empregado-T* com uma instância $\langle \text{OID}_F, t_F \rangle$ de *Função-T*, onde $t_E = t_F = t$.

Os relacionamentos temporais só são válidos nos momentos especificados pelo seus rótulos temporais. Por exemplo, a lotação do empregado de OID 1003 no departamento de OID 9012 (ver tabela referente ao conjunto-relacionamento *Lotação* da figura 7) só é válido nos momentos 11, 12, 13, 14, 19 e 20 do eixo temporal.

A validade no tempo de um relacionamento temporal sempre está contido dentro da interseção das existências das entidades associadas. Ou seja, o conjunto de pontos do tempo que define a validade de um relacionamento do tipo temporal é um subconjunto da interseção dos conjuntos de pontos que definem as existências das entidades associadas.

5.3.2.2 Relacionamentos Intemporais

São relacionamentos que não levam em consideração a dimensão temporal, ou seja, neste tipo de relacionamento apenas participam os OID's das entidades, sem qualquer menção a pontos do tempo. Os relacionamentos intemporais se materializam ao nível das perspectivas intemporais das entidades. É o que mostra o mapeamento para ER convencional do conjunto-relacionamento *Preferência*, presente na figura 15. No exemplo, a intenção do modelador é especificar que um empregado, ao estar presente no banco de dados, deve ter registrada a sua preferência por pelo menos uma função, e esta preferência não tem momento inicial ou final de validade, é intemporal.

Para efeito de recuperação de informação, os relacionamentos intemporais são sempre válidos, desde que estejam presentes no banco de dados. Argumentos temporais, que porventura estejam presentes em consultas (*queries*), não restringem, ou melhor, não produzem qualquer efeito sobre o acesso a este tipo de relacionamento.

5.3.2.3 Restrições de cardinalidade dos relacionamentos

A restrição de cardinalidade anotada junto às linhas que conectam conjuntos-entidade (retângulos) a conjuntos-relacionamento (losangos) refere-se à participação das entidades nos conjuntos-relacionamento. Esta forma de anotar as cardinalidades é a mesma adotada na metodologia Merise, segundo [FER 91], e em outros trabalhos publicados tais como [BAT 92]. Segundo este princípio de notação da cardinalidade, uma entidade *participa* de relacionamentos. Por exemplo, no diagrama TempER da figura 6, a notação "(1, 1)" que está junto à linha que liga o conjunto-entidade *Empregado* ao conjunto-relacionamento *Lotação* significa que uma instância do conjunto-entidade *Empregado*, ou

seja um empregado qualquer, participa de no mínimo um e no máximo um relacionamento do conjunto Lotação em cada momento do tempo da sua existência como empregado. Por sua vez, a notação "(0,N)" junto à linha que conecta o conjunto-entidade Departamento ao conjunto-relacionamento Lotação especifica que um departamento pode não participar de qualquer relacionamento do conjunto Lotação, ou seja, é um departamento sem empregados, ou pode participar do conjunto-relacionamento um número indeterminado de vezes, a cada momento do tempo. Em outros termos, em cada momento do tempo da sua validade temporal, um empregado está alocado obrigatoriamente a um e a somente um departamento, e um departamento pode ter nenhum, ou ter qualquer número de empregados lotados.

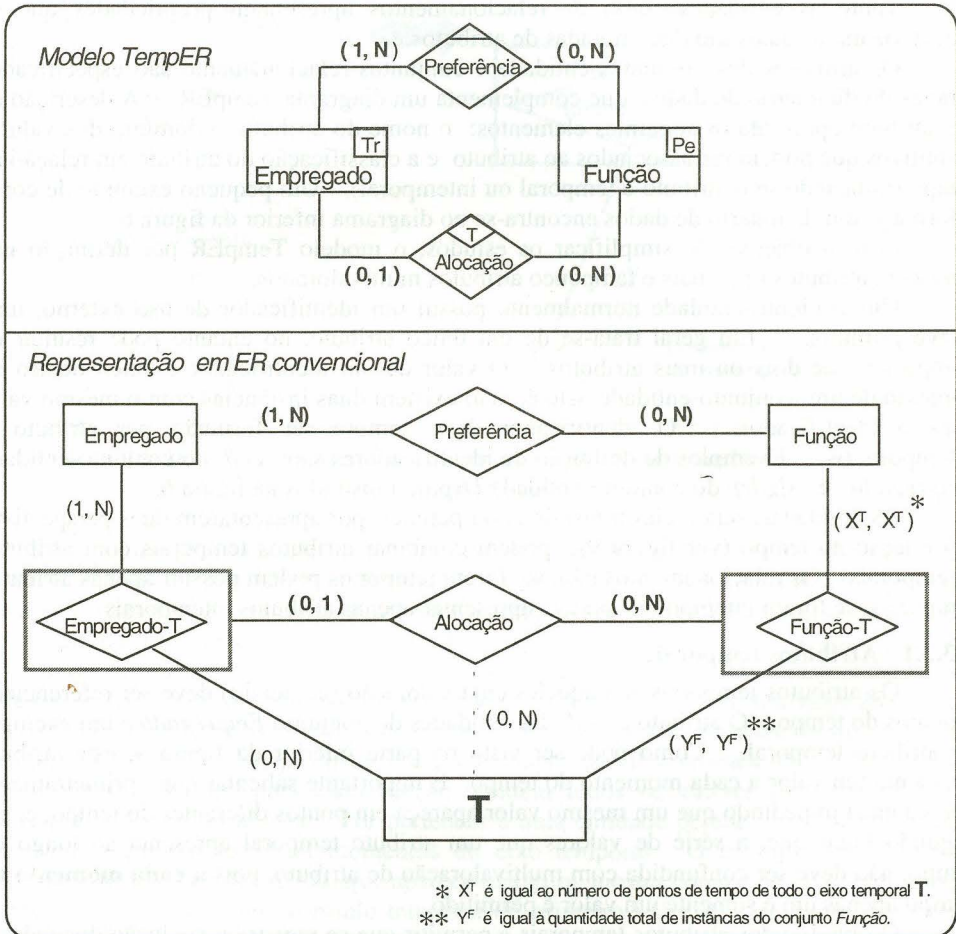


FIGURA 15 - Mapeamento de relacionamentos temporais e intemporais para ER convencional

O significado das restrições de cardinalidade *depende* da classificação temporal do conjunto-relacionamento. Caso o conjunto-relacionamento seja temporal, como é o caso do exemplo acima descrito, a leitura da cardinalidade necessariamente se dá em relação a cada ponto do tempo. Por outro lado, caso o conjunto-relacionamento seja intemporal, deixa de existir esta referência a pontos do tempo e a leitura das restrições de cardinalidade fica semelhante à do modelo ER convencional.

A figura 10 apresenta as formas de registrar as restrições de cardinalidade referentes à participação de uma entidade em um conjunto-relacionamento (temporal e intemporal).

5.3.3 Atributos

Tanto as entidades como os relacionamentos apresentam propriedades que os caracterizam, as quais são denominadas de atributos.

Os atributos dos conjuntos-entidade e conjuntos-relacionamento são especificados através do dicionário de dados, que complementa um diagrama TempER. A descrição de um atributo apresenta os seguintes elementos: o nome do atributo, o domínio dos valores primitivos que podem ser associados ao atributo e a classificação do atributo em relação ao tempo (indicando se o atributo é temporal ou intemporal). Um pequeno exemplo de como é formado um dicionário de dados encontra-se no diagrama inferior da figura 6.

Com o objetivo de simplificar os estudos, o modelo TempER por definição não apresenta atributos opcionais e tampouco atributos multivalorados.

Um conjunto-entidade normalmente possui um identificador de uso externo, uma chave primária. Em geral trata-se de um único atributo, no entanto pode resultar da composição de dois ou mais atributos. O valor de um identificador é único dentro do contexto de um conjunto-entidade, isto é, não existem duas instâncias com o mesmo valor para o identificador. O identificador deve sempre ser formado por atributo(s) intemporal (is). Exemplos de definição de identificadores são: *cod* do conjunto-entidade *Empregado* e *sigdep* do conjunto-entidade *Depto*, mostrados na figura 6.

As entidades, sejam elas transitórias ou perenes, por apresentarem duas perspectivas em relação ao tempo (ver figura 9), podem combinar atributos temporais com atributos intemporais. Os relacionamentos não: se forem temporais podem possuir apenas atributos temporais, se forem intemporais podem apresentar apenas atributos intemporais.

5.3.3.1 Atributos temporais

Os atributos temporais são aqueles cuja valoração (conteúdo) deve ser referenciada a pontos do tempo. O atributo *at-sal* das entidades do conjunto *Empregado* é um exemplo de atributo temporal. Como pode ser visto na parte inferior da figura 9, este atributo apresenta um valor a cada momento do tempo. É importante salientar que, primeiramente não há nada impedindo que um mesmo valor apareça em pontos diferentes do tempo, e, em segundo lugar que, a série de valores que um atributo temporal apresenta ao longo do tempo, não deve ser confundida com multivaloração de atributo, pois **a cada momento do tempo** apenas um e somente um valor é permitido.

O objetivo dos atributos temporais é permitir que se registre a evolução dos valores de uma propriedade ao longo do tempo.

Em virtude de no modelo TempER não existir atributo opcional, um atributo temporal deve obrigatoriamente apresentar um valor para cada momento da existência das entidades ou relacionamentos temporais a que pertença. Quando se tratar de entidade perene, isto implica em que o atributo temporal apresenta valor em todos os pontos do eixo temporal.

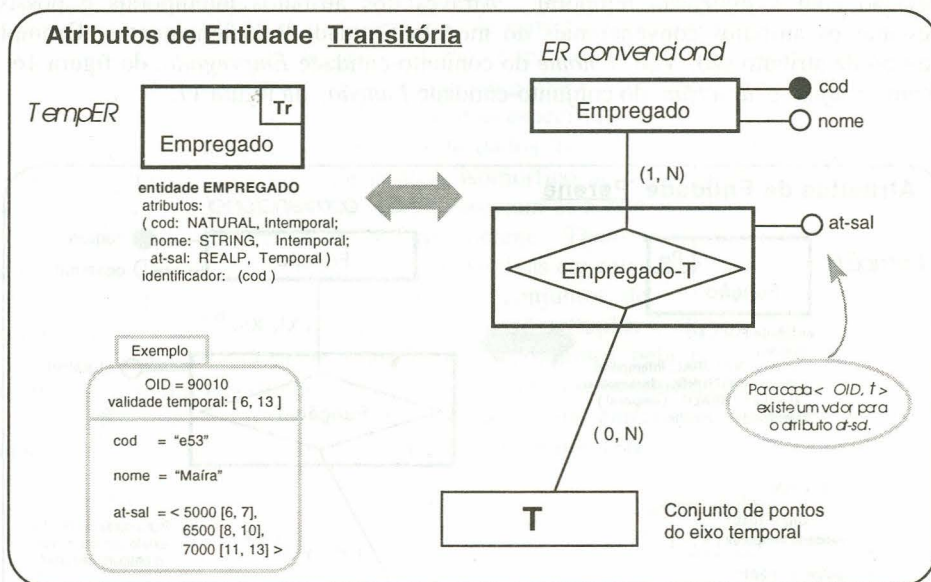


FIGURA 16 - Mapeamento de atributos de entidade transitória para ER convencional

Na figura 16, a associação de um atributo temporal a uma entidade transitória é ilustrada através do mapeamento do modelo TempER para diagrama ER convencional. Trata-se do atributo *at-sal*, que para cada empregado contém toda a sua história salarial. No diagrama ER convencional este atributo aparece conectado ao conjunto-entidade especial que modela a perspectiva temporal dos empregados (*Empregado-T*), ou seja, para cada par $\langle \text{OID do empregado}, \text{ponto do tempo} \rangle$ existe um e apenas um valor de salário.

Na figura 17, a associação de um atributo temporal a uma entidade do tipo perene é ilustrada também via o mapeamento para um diagrama ER convencional. Trata-se do atributo *at-salref* que, para cada função, contém todos os valores de referência que houveram ao longo do tempo. Por pertencer a uma entidade perene, este atributo deve apresentar valor em todos os momentos do eixo temporal. O exemplo de valoração referente à função de OID 70101, que aparece na figura, mostra como é possível cobrir todo o eixo temporal. Basta que o rótulo temporal do primeiro valor da série apresente como ponto inicial o símbolo “«”, e rótulo temporal do último valor da série apresente como ponto final o símbolo “»”.

A valoração dos atributos temporais é representada através de um *assinalamento temporal* (ver descrição que se encontra na sub-seção 2.4).

5.3.3.2 Atributos intemporais

Os atributos intemporais são aqueles cujos valores não apresentam qualquer associação com a dimensão temporal. Através dos atributos intemporais é possível representar os atributos convencionais do modelo Entidade-Relacionamento. Exemplos deste tipo de atributo são: *cod* e *nome* do conjunto-entidade *Empregado*, da figura 16, e também, *codfun* e *descrfun* do conjunto-entidade *Função*, da figura 17.

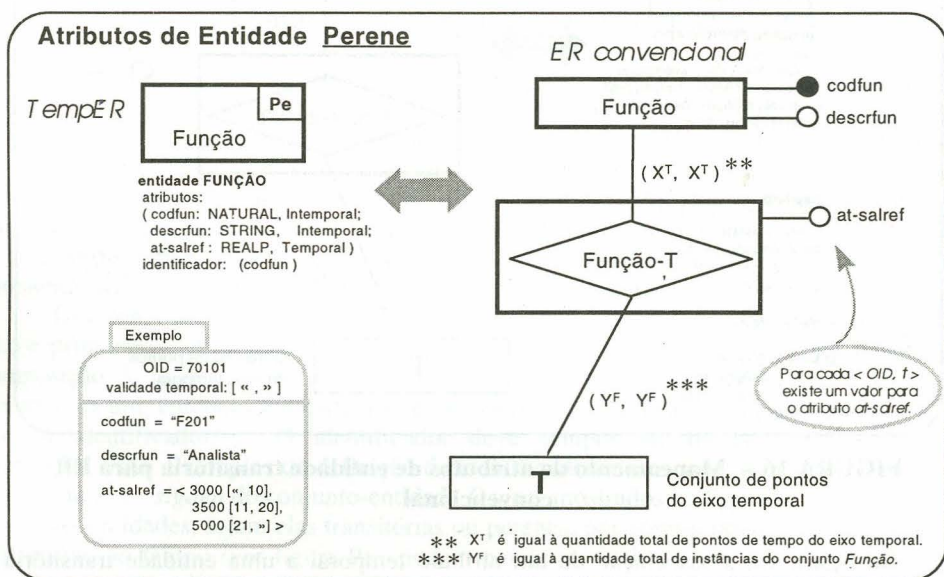


FIGURA 17 - Mapeamento de atributos de entidade perene para ER convencional

Os atributos intemporais existem apenas na perspectiva intemporal das entidades ou associados a relacionamentos intemporais. As figuras 16 e 17 ilustram, através do mapeamento para ER convencional, de que forma os atributos intemporais são abordados pelo modelo TempER.

Em virtude de não apresentarem qualquer subordinação ao eixo temporal, os atributos intemporais estão vinculados apenas aos OID's das entidades. Portanto, diferentemente dos atributos temporais que estão restritos aos momentos da validade temporal das entidades, os seus valores sempre são *vigentes*, qualquer que seja o argumento temporal que porventura restrinja uma possível recuperação de informação; basta que as respectivas entidades estejam presentes no banco de dados, não importando quais sejam as suas *existências*.

6. Conclusão

A concepção do modelo de dados temporal TempER, utilizado na proposta TempER-Tr, inspirou-se principalmente no modelo ERT [LOU 91] e em uma proposta da área de banco de dados temporais [GAD 88, 93]. A vantagem de se utilizar um modelo de dados temporal, no lugar de um convencional, está na sua capacidade de expressar a associação dos elementos com o tempo e de especificar as restrições decorrentes disto. Nos modelos de dados convencionais o tempo é representado por atributos comuns (datas, horas, etc) e não estão disponíveis mecanismos para representar restrições temporais, exigindo, por consequência, que o modelador as especifique ao nível do modelo dinâmico.

A dimensão temporal no modelo de dados TempER é assumida como sendo um conjunto implícito e constante de pontos, isomórfico ao conjunto dos números inteiros, denominado eixo temporal. As entidades associam-se a este eixo temporal de duas formas possíveis: de forma transitória ou de forma perene. Tanto as entidades perenes quanto as entidades transitórias, apresentam duas perspectivas em relação ao tempo: uma intemporal e uma temporal. Quando se focaliza os conjuntos de entidades pela perspectiva intemporal estes apresentam apenas duas dimensões (tuplas x atributos intemporais). Por outro lado, quando se focaliza estes mesmos conjuntos pela perspectiva temporal eles passam a apresentar três dimensões (tuplas x atributos temporais x eixo temporal). Quanto aos relacionamentos, ou as entidades se associam entre si na perspectiva temporal (relacionamentos temporais) ou na perspectiva intemporal (relacionamentos intemporais).

Referências Bibliográficas

- [ALE 85] ALENCAR FILHO, Edgard de. **Teoria elementar dos conjuntos**. 20.ed. São Paulo: Nobel, 1985.
- [ALL 83] ALLEN, J. F. Maintaining knowledge about temporal intervals. **Communications of the ACM**, New York, v.26, n.11, p.832-843, Nov.1983.
- [ANT 97] ANTUNES, Dante C. Modelagem temporal de sistemas: uma abordagem fundamentada em redes de Petri. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1997. Dissertação de Mestrado.
- [BAT 92] BATINI, Carlo; CERI, Stefano; NAVATHE, Shamkant B. **Conceptual Database Design - an Entity-Relationship Approach**. Redwood City: The Benjamin/Cummings Publishing Company, 1992.
- [CAS 95] CASTRO, C.; GRANDI, F.; SCALAS, M.R. On Schema versioning in temporal databases. In: J. CLIFFORD, A. TUZHILIN (Eds.) **Recent Trends in Temporal Databases**. Great Britain: Springer Verlag, 1995. p. 272-291.
- [CHE 76] CHEN, Peter S. The entity-relationship model - toward a unified view of data. **ACM Transactions on Database Systems**, New York, v.1, n.1, p.9-28, Mar.1976.
- [CLI 87] CLIFFORD J.; CROCKER, A. The Historical relational data model (HRDM) and algebra based on lifespans. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DATA ENGINEERING, 3., Feb. 1987, Los Angeles, California. **Proceedings..** Los Angeles, 1987. p.528-537.
- [CLI 88] CLIFFORD, J.; RAO, A. A simple, general structure for temporal domains. In: ROLLAND, C.; BODART, F.; LEONARD, M. (Eds.). **Temporal Aspects in Information Systems**. Amsterdam: North-Holland, 1988. p.17-28.
- [CLI 88a] CLIFFORD, J.; CROKER, A. Objects in time. **Data Engineering**, Washington, v.11, n.4, p.11-18, Dec.1988.
- [CLI 95] CLIFFORD, J.; TUZHILIN, A. (Eds.). **Recent Advances in Temporal Databases**. Berlin: Springer-Verlag, 1995.
- [EDE 94] EDELWEISS, N. **Sistemas de Informação de Escritórios: Um Modelo para Especificações Temporais**. Porto Alegre: CPGCC - UFRGS, 1994. Tese de Doutorado.
- [EDE 94a] EDELWEISS, Nina; OLIVEIRA, José Palazzo M. **Modelagem de aspectos temporais de sistemas de informação**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1994. Livro texto da Escola de Computação, 9., 1994, Recife.

- [EDE 95] EDELWEISS, Nina; OLIVEIRA, José Palazzo M.; CASTILHO, José Mauro V. Evolução de esquemas em banco de dados temporais. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE INFORMÁTICA, 21., 1995, Canela, RS. **Anais...** Porto Alegre: Instituto de Informática da UFRGS, 1995.
- [ELM 92] ELMASRI, Ramez; KOURAMAJIAN, Vram. A temporal query language based on conceptual entities and roles. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON THE ENTITY RELATIONSHIP APPROACH, 11., 1992, Karlsruhe, Germany. **Proceedings...** Berlin: Springer Verlag, 1992. p.375-388. (Lecture Notes in Computer Science, v.645).
- [ELM 93] ELMASRI, Ramez; WUU, Gene T. J.; KOURAMAJIAN, Vram. A temporal model and query language for EER Databases. In: TANSEL, A. et al. (Eds.). **Temporal databases: theory, design and implementation.** Redwood City: The Benjamin/Cummings Publishing, 1993. p. 212-229.
- [FER 91] FERG, Stephen. Cardinality Concepts in Entity-Relationship Modeling. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON THE ENTITY RELATIONSHIP APPROACH, 10., 1991, San Mateo, California. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1991.
- [GAD 88a] GADIA, S.K.; YEUNG, C.S. A Generalized model for a relational temporal database. In: ACM SIGMOD INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT OF DATA, Chicago, IL, June 1988. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1988. p. 251-259.
- [GAD 88] GADIA, Shashi. A homogeneous relational model and query language for temporal databases. **ACM Transactions on Database Systems**, New York, v.13, n.4, p.418-448, Dec.1988.
- [GAD 93] GADIA, Shashi; NAIR, Sunil. Temporal databases: a prelude to parametric data. In: TANSEL, A. et al. (Eds.). **Temporal databases: theory, design and implementation.** Redwood City: The Benjamin/Cummings Publishing, 1993. p. 28-66.
- [HEU 90] HEUSER, Carlos A. **Modelagem conceitual de sistemas: redes de Petri.** Buenos Aires: Ed. Kapelus, 1990.
- [HEU 92] HEUSER, Carlos A.; RICHTER, Gernot. Constructs for modeling information systems with Petri nets. In: JENSEN, K. (Ed.). **Application and Theory of Petri Nets.** Berlin: Springer-Verlag, 1992. p.224-243. (Lecture Notes in Computer Science, v. 616).
- [HEU 93] HEUSER, Carlos A.; PERES, Eduardo M.; RICHTER, Gernot. Towards a complete conceptual model: Petri nets and entity-relationship diagrams. **Information Systems**, Oxford, v.18, n.5, p. 275-298, 1993.
- [JCS 94] JENSEN, Christian S. (Ed.). A consensus glossary of temporal database concepts. **ACM SIGMOD Record**, New York, v.23, n.1, p. 52-64, Mar.94.

- [KAF 92] KÄFER, W.; SCHÖNING, H. Realizing a temporal complex-object data model. In: ACM SIGMOD INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT OF DATA, June 2-5, 1992, San Diego. **Proceedings...** San Diego: [s.n.], 1992. p.266-275.
- [KHO 86] KHOSHAFIAN, Setrag N.; COPELAND, George P. Object Identity. **ACM SIGPLAN Notices**, New York, v. 21, n. 11, p. 214-223, Sept.1986. Trabalho apresentado na Conference on Object-Oriented Programing Systems, Languages and Applications, OOPSLA, 1986, Portland.
- [LOR 88] LORENTZOS, N.A.; JOHNSON, R.G. Extending relational algebra to manipulate temporal data. **Information Systems**, v.13, n.3, p.289-296, 1988.
- [LOU 90] LOUCOPOULOS, P et al. TEMPORA - Integrating database technology rule based systems and temporal reasoning for effective software. In: ESPRIT CONFERENCE, 1990, Brussels, Bélgica. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1990.
- [LOU 91] LOUCOPOULOS, P.; THEODOULIDIS, C.; WANGLER, B. The entity relationship time model and conceptual rule language. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON THE ENTITY RELATIONSHIP APPROACH, 10., 1991, San Mateo, California. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1991.
- [LOU 91a] LOUCOPOULOS, P.; THEODOULIDIS, C.; WANGLER, B. A conceptual modelling formalism for temporal database applications. **Information Systems**, Oxford, v.16, n.4, p.401-416, 1991.
- [LOU 91b] LOUCOPOULOS, P.; THEODOULIDIS, C.; PANTAZIS, D. Business rules modelling: conceptual modelling and object-oriented specifications. In: **Object Oriented Approach in Information Systems**. Amsterdam: North-Holland, 1991. p.323-342.
- [NAV 89] NAVATHE, B.; AHMED, R. A Temporal relational model and a query language. **Information Sciences**, v.49, p. 147-175, 1989.
- [OZS 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.
- [ROS 91] ROSE, E.; SEGEV, A. TOODM: A Temporal object-oriented data model with temporal constraints. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE ENTITY RELATIONSHIP APPROACH, 10., Oct. 1991, San Mateo, California. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1991.
- [SAR 90] SARDA, N.L. Extensions to SQL for historical databases. **IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering**, v.2, n.2, p. 220-230, June 1990.

- [SEG 88] SEGEV, A.; SHOSCHANI, A. Modeling temporal semantics. In: ROLLAND, C.; BODART, F.; LEONARD, M. (Eds.). **Temporal Aspects in Information Systems**. Amsterdam: North-Holland, 1988. p.47-57.
- [SEG 93] SEGEV, A.; SHOSCHANI, A. A temporal data model based on time sequences. In: TANSEL, A. et al. (Eds.). **Temporal databases: theory, design and implementation**. Redwood City: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1993. p. 248-270.
- [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.
- [SNO 95] SNODGRASS, Richard T. (Ed.) **The TSQL2 Temporal Query Language**. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 1995. 674p.
- [SU 91] SU, S.Y.W.; CHEN, H.-H. M. A Temporal knowledge representation model OSAM^{*}/T and its query language OQL/T. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON VERY LARGE DATA BASES, 17., Sept. 1991, Barcelona. **Proceedings...** Barcelona: VLDB, 1991. p.431-442.
- [TAN 86] TANSEL, A.U. Adding time dimension to relational model and extending relational algebra. **Information Systems**, v.11, n.4, p.343-355, 1986.
- [TAN 93] TANSEL, A. et al. (Eds.). **Temporal databases: theory, design and implementation**. Redwood City: The Benjamin/Cummings Publishing, 1993.
- [TAU 91] TAUZOVIK, Branka. Towards temporal extensions to the entity-relationship model. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON THE ENTITY RELATIONSHIP APPROACH, 10., 1991, San Mateo, California. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1991.
- [WUU 93] WUU, Gene T. J.; DAYAL, Umeshwar. A uniform model for temporal and versioned object-oriented databases. In: TANSEL, A. et al. (Eds.). **Temporal databases: theory, design and implementation**. Redwood City: The Benjamin/Cummings Publishing, 1993. p.230-247.