

Rumo a um modelo conceitual completo: Redes de Petri e Diagramas E/R

Carlos A. Heuser*

Eduardo Meira Peres

PGCC/II - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Sumário

O artigo mostra o uso combinado de diagramas *entidade/relacionamento (E/R)* e *redes de Petri* na modelagem conceitual de sistemas. A idéia é combinar uma técnica de modelagem de propriedades estáticas largamente usada na prática com uma técnica cujo ponto forte é a modelagem de propriedades dinâmicas. Redes de Petri podem ser utilizadas também na modelagem de propriedades estáticas de sistemas. Com base nisto, o artigo mostra como diagramas E/R podem ser compreendidos em termos de redes de Petri, através da apresentação das regras para tradução de diagramas E/R em redes de Petri. Mostra, ainda, como é possível estender o diagrama E/R, através das redes de Petri, afim de obter um modelo conceitual completo que contém tanto as propriedades estáticas quanto as propriedades dinâmicas do sistema.

Abstract

The paper describes the combined use of *entity-relationship (E/R)* diagrams and *Petri nets* for conceptual system modeling. The idea is to combine a tool for modeling static system properties, which is widely used in EDP-praxis, with a tool aimed to the description of dynamic system properties. Petri nets can be used also for modeling static properties. Based on this fact, the semantics of E/R diagrams is given in terms of Petri nets. Further, it is shown how to extend the E/R approach using Petri nets to obtain complete conceptual models, which contain both the static and the dynamic properties of the modeled system.

Palavras-chave: Modelo conceitual, modelo de dados, modelo de funções, modelo de propriedades estáticas, modelo de propriedades dinâmicas, modelo formal, restrições de integridade, redes de Petri, abordagem entidade/relacionamento.

*Este trabalho tem suporte financeiro parcial da FINEP, CNPq e da SID/Informática (Projeto ESTRÁ).

1. Introdução

O presente artigo trata do problema da modelagem conceitual de propriedades estáticas e dinâmicas de sistemas de informação, não necessariamente daqueles implementados com tecnologia de banco de dados. O significado do termo *conceitual* aqui utilizado é o de [ISO82]. Dentro desta acepção, o esquema conceitual é exatamente aquele modelo de um sistema a implementar, que fixa *todas* as propriedades acordadas entre os diversos usuários, sem, entretanto, conter detalhes de implementação. As propriedades de um sistema podem ser classificadas em propriedades *estáticas* e propriedades *dinâmicas*. As propriedades estáticas descrevem os *estados* que o sistema alcança, enquanto as propriedades dinâmicas descrevem as *transições* entre esses estados. Modelos conceituais de propriedades estáticas são muitas vezes chamados de *modelos de dados*, enquanto modelos conceituais de propriedades dinâmicas são chamados de *modelos de funções*. Entretanto, estes termos (modelo de dados, modelo de funções) são pouco adequados para falar sobre modelos no nível conceitual. Um modelo conceitual de dados não deve conter descrições de estruturas de dados, pois estas aparecem somente em modelos mais próximos da implementação. O modelo conceitual deve descrever a semântica dos dados, i.é os objetos da realidade modelada e seus estados, os quais serão, em uma eventual implementação, representados através de dados. Raciocínio análogo vale para modelos de funções. Assim, prefere-se usar, a nível de modelagem conceitual, os termos mais neutros de modelo de propriedades estáticas e modelo de propriedades dinâmicas.

As abordagens sugeridas inicialmente, na literatura de banco de dados, para uso na modelagem conceitual, como, p.ex., a abordagem entidade/relacionamento (E/R) de Chen [Chen76], eram adequadas apenas à descrição das propriedades estáticas de sistema. A época acreditava-se que fosse possível deixar a descrição das propriedades dinâmicas para abordagens desenvolvidas na área da modelagem e análise de sistemas de informações, como p.ex., a abordagem *Análise estruturada* de Gane [GaneSarson84]. Somente mais tarde, foi reconhecida a impossibilidade de se tratar os dois tipos de propriedades separadamente, através do uso de abordagens diferentes. Um dos reflexos deste reconhecimento é o grande impulso recebido, dentro da área de BD, pela pesquisa de abordagens que permitem a descrição dos dois tipos de propriedades, como, p.ex., a lógica temporal.

A idéia central deste artigo é mostrar como é possível aplicar a abordagem E/R, uma técnica estabelecida na prática da modelagem de propriedades estáticas de sistemas, em conjunto com as *redes de Petri*, utilizadas largamente na modelagem das propriedades dinâmicas. Conforme já discutido em [HeuserRichter86], as redes de Petri permitem a descrição tanto de propriedades dinâmicas quanto de propriedades estáticas de sistemas. Entretanto, para o uso prático da modelagem de propriedades estáticas, as redes de Petri tendem a fornecer modelos muito grandes e complexos, se comparados com modelos de outras abordagens, como a abordagem E/R. Surgiu daí a idéia

de combinar diagramas E/R com redes de Petri para o uso na prática. O primeiro passo na direção do uso combinado das duas abordagens foi dado em [Heuser87a,Heuser87b,Heuser89], onde é mostrado como um diagrama E/R pode ter a sua semântica expressa em termos de redes de Petri. Mais tarde, o uso combinado das abordagens foi mostrado em [Peres89].

O artigo inicia com uma introdução informal a uma classe de redes de Petri adequada à modelagem conceitual. Após, a semântica dos diagramas E/R é dada através da tradução dos mesmos em redes de Petri. Finalmente, é mostrado como pode ser feito o uso combinado de ambas abordagens. Como sistema exemplo a ser modelado, é usado o caso da preparação de conferências, bastante difundido na literatura [Olle82,Ceri83], cujo enunciado é apresentado no Apêndice.

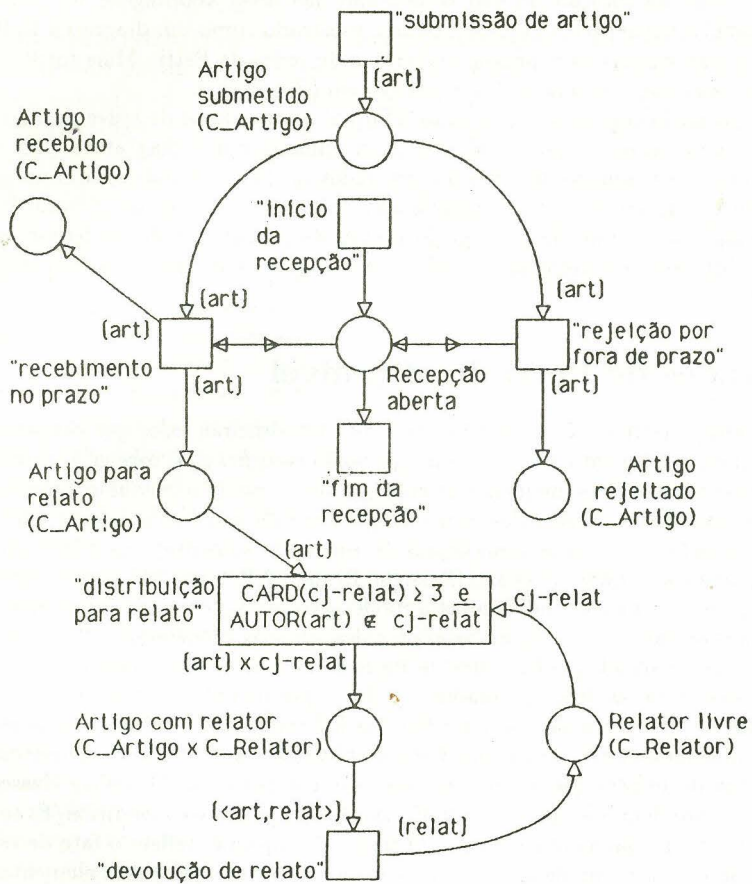
2. Redes de Petri de alto-nível

Muitas vezes, o termo *rede de Petri* é associado às primeiras redes que surgiram na literatura, que se caracterizam pela marcação com *fichas* ("tokens"), usualmente representadas por pequenos círculo pretos, e que não possuem propriedades. A estas redes dá-se a denominação genérica de redes *elementares* (cada lugar é marcado com uma ou mais cópias de um objeto somente). As referências mais importantes a estas redes são [Reisig86,Brauer87,Peterson81]. Entretanto, redes elementares não são adequadas à modelagem de sistemas de informação, onde deseja-se falar sobre as *propriedades* dos objetos modelados. Para esta aplicação, são mais adequadas redes de Petri de *alto-nível*, nas quais as marcas são *entidades* dotadas de propriedades. Os dois tipos de redes de alto-nível mais difundidos na literatura são as redes Predicado/Transição [Genrich87] e as redes coloridas [Jensen87]. Tendo em vista a aplicação na modelagem conceitual de sistemas de informação e combinando aspectos positivos de ambas classes de redes, foram definidas as redes *CEM compactas* ("compact Condition/Event Modeling nets"), usadas neste artigo. O termo "compacta" reflete o fato de estas redes serem, para um dado sistema, de menor dimensão que a rede elementar correspondente. Estas redes são introduzidas de forma detalhada em [Heuser89] (lá chamadas de redes marcadas), estando formalizadas em [RichterHeuser89].

O objetivo da presente seção é introduzir as redes CEM compactas de maneira informal, através de um exemplo (para uma introdução detalhada ver o livro [Heuser89]). O exemplo escolhido é uma parte do sistema de preparação de conferências da IFIP, acima mencionado. Nesta parte do sistema, considera-se apenas a recepção de artigos e sua distribuição entre os relatores do artigo. A figura 1 é uma rede CEM para este sistema.

De maneira geral, uma rede de Petri consta de:

- *Lugares*, representados graficamente por círculos,
- *Conexões* entre lugares, representadas, cada uma, por um retângulo, ligado



Símbolos de constante

C_Artigo - Conjunto de entidades tipo artigo

C_Relator - Conjunto de entidades tipo relator

Símbolos de função

CARD - Fornece a cardinalidade de um conjunto

AUTOR - Fornece o autor de um artigo

Definição do UD

$C_Artigo \cap C_Relator \neq \emptyset$

Figura 1: Exemplo de rede CEM

por setas aos círculos representativos dos lugares conectados. Os lugares podem participar em uma conexão de diversas formas, indicadas pelos ramos da conexão, representados graficamente pelas setas. Nas redes CEM os ramos são dos seguintes tipos:

- ramo *alterador de entrada*, representado por seta simples entrando no retângulo,
- ramo *alterador de saída*, representado por seta simples saindo do retângulo,
- ramo *restaurador de entrada*, representado por seta dupla entrando no retângulo,
- ramo *restaurador de saída*, representado por seta dupla saindo do retângulo.

- *Anotações* opcionais associadas aos lugares, conexões, ou ramos.

Uma *rede CEM compacta* é um tipo particular de rede de Petri, que é anotada com uma linguagem da lógica de predicados de primeira ordem e que é dotada de regras exatas de funcionamento.

Os lugares de uma rede CEM podem ser vistos como depósitos de *entidades* representativas de objetos da realidade modelada. Em cada lugar podem aparecer entidades de um determinado tipo, o *domínio* do lugar. Na rede da figura 1, por exemplo, podem aparecer como entidades do lugar *Artigo submetido* entidades do conjunto de todos os artigos (conjunto C_Artigo). Já no lugar *Artigo com relator*, cujo domínio é o produto cartesiano $C_Artigo \times C_Relator$, podem aparecer pares de entidades, formados por um artigo e um relator.

A interpretação que se dá, em termos de sistema modelado, à presença/ausência de uma entidade em um lugar, é o vigorar/não vigorar de uma determinada *condição* do sistema. Assim, no caso do sistema exemplo, a presença de um determinado artigo a_1 no lugar *Artigo submetido* indica o vigorar da condição *Artigo a_1 submetido*, enquanto a presença de um par $\langle a_1, r_1 \rangle$ no lugar *Artigo com relator* indica o vigorar da condição *Artigo a_1 com relator r_1* . Cada condição é, em realidade, um estado local, que pode ser completamente independente dos demais estados locais.

As conexões de uma rede CEM servem para definir *alterações* da presença/ausência de entidades em lugares. O efeito da ocorrência de uma alteração é o desaparecimento de entidades de lugares e o coincidente aparecimento de entidades em lugares. As entidades e os lugares afetados pela ocorrência de uma alteração são indicados pelos ramos da conexão definidora da alteração. Na rede da figura 1, por exemplo, a ocorrência de uma alteração definida pela conexão *devolução de relato* tem como efeito o desaparecimento de um artigo com respectivo relator do lugar *Artigo com relator* e o coincidente surgimento do mesmo relator no lugar *Relator livre*.

Artigo Técnico

A interpretação que se dá, em termos de sistema modelado, à ocorrência de uma alteração, é a ocorrência de um *evento* sistema. Portanto, uma alteração definida pela conexão *devolução de relato* representa o evento da devolução do relato por um relator, cuja ocorrência tem por efeito o deixar de vigorar da condição *artigo art com relator relat* e o passar a vigorar da condição *Relator relat livre*.

O objetivo da modelagem conceitual de sistemas é, simplesmente, a definição de um conjunto de estados e um conjunto de transições entre estes estados. Na abordagem das redes, um estado de um sistema é definido pelo vigorar, ou não, do conjunto das *condições* do sistema. As transições entre estados de um sistema são definidas, na abordagem das redes, por *eventos*, cuja ocorrência tem como efeito a alteração do vigorar de determinadas condições do sistema. Os eventos definem, portanto, transições locais às condições envolvidas. Desta interpretação das redes, como descrevendo condições e eventos de um sistema, provém a denominação das redes CEM ("Condition/Event Modeling nets").

Precisando, uma *Rede CEM compacta* consta de:

1. *Definição de linguagem da lógica de predicados de primeira ordem* através da enumeração de seus símbolos não lógicos.

No caso do exemplo, há dois símbolos de constante, C_Artigo e C_Relator, representando, respectivamente, o conjunto de todos os artigos e o conjunto de todos os relatores, e há dois símbolos funcionais, CARD, designando a função que atribui a cada conjunto a sua cardinalidade, e AUTOR, designando a função que atribui a cada artigo o seu autor.

2. *rede de Petri* anotada com a linguagem do item anterior, como segue:

- A cada conexão é associada uma fórmula da linguagem. Esta fórmula, a *fórmula de conexão*, aparece, na representação gráfica da rede, dentro do retângulo da conexão. No caso especial de a fórmula ser Verdadeiro, ela pode ser omitida.
- A cada ramo é associado um termo da linguagem, o *termo de ramo*, que aparece, na representação gráfica da rede, junto à seta representativa do ramo. Este termo deve designar sempre um conjunto dentro do universo de discurso considerado.
- A cada lugar são associados dois termos constantes da linguagem (termos sem variáveis livres), que devem designar, cada qual, um conjunto do universo de discurso. Um dos termos, o *domínio* do lugar, aparece entre parênteses na representação gráfica da rede, após o nome do lugar. O outro termo, a *marcação inicial*, aparece, na representação gráfica, dentro do círculo representativo do lugar associado. No caso especial de a marcação inicial ser o conjunto vazio, este termo é omitido, como é o caso em todos lugares da rede exemplo.

3. *Definição do universo de discurso (UD)*, através de fórmulas da linguagem de anotação.

No exemplo, o UD contém os artigos e os relatores. A única restrição imposta é de que ambos conjuntos sejam disjuntos.

Uma Rede CEM compacta tem o significado dado a seguir.

Significado dos lugares

O *domínio* do lugar, que aparece entre parênteses após a denominação do lugar, indica quais as entidades do UD que podem aparecer neste lugar. Exemplificando, as entidades que podem aparecer nos lugares *Artigo submetido* e *Artigo Recebido* da rede exemplo são entidades do conjunto C_Artigo, o conjunto de todos os artigos.

Muitas vezes, ao se falar sobre a rede é necessário construir frases como “a entidade *e* está presente no lugar *l*”. Apenas como notação mais simples, introduz-se o conceito de *marca*. Uma marca é uma entidade em um lugar. Assim, ao invés de dizer “a entidade *e* está presente (ausente) no lugar *l*” diz-se “a marca (*e*, *l*) está presente (ausente)”. Assim, o domínio de um lugar descreve o conjunto de marcas definidas por este lugar.

Quando o domínio de um lugar é omitido, como no caso do lugar *Recepção aberta*, significa que este lugar define uma marca somente.

Significado das conexões

Os ramos das conexões estão anotados com termos da linguagem de anotação, os quais designam sempre conjuntos de entidades. Opcionalmente, uma conexão pode estar anotada com uma fórmula da linguagem de anotação (um exemplo é a conexão *distribuição para relato*). Os termos dos ramos de uma conexão possuem, normalmente, algumas variáveis livres. No caso da conexão *recebimento no prazo*, por exemplo, há uma variável livre, a variável *art*, enquanto que na conexão *devolução de relato* há duas variáveis livres, *art* e *relat*.

Uma conexão define uma alteração para cada *valoração* de suas variáveis livres, que obedeça às seguintes condições:

1. O conjunto designado pelo termo de cada ramo, sob a valoração considerada, deve fazer parte do domínio do lugar, i.é, do conjunto de entidades admissíveis no lugar. Desta forma, as variáveis livres da conexão são tipificadas pelos domínios dos lugares.
2. A fórmula da conexão, quando presente, deve resultar, sob a valoração considerada, em verdadeiro.

Exemplificando, a conexão *submissão de artigo* define uma alteração para cada valor de *art* (a variável livre desta conexão) que esteja contido no conjunto C_Artigo de todos os artigos. Já a conexão *devolução de relato* define uma

alteração para cada par de valores de art e relat, ou seja, para cada par de entidades formado por um artigo e um relator.

Um exemplo que envolve fórmula de conexão é o da conexão *distribuição para relato*, que tem duas variáveis livres: art e cj-relat. Esta conexão define uma alteração para cada valoração destas variáveis tal que:

- o valor de art seja um artigo,
- o valor de cj-relat seja um conjunto de relatores,
- a cardinalidade do conjunto designado por cj-relat seja maior ou igual a três e
- a entidade designada por AUTOR(art) não apareça no conjunto cj-relat

A ocorrência de uma alteração definida por esta conexão tem por efeito o desaparecimento de um artigo do lugar *Artigo para relato* e o surgimento de pelo menos três entidades no lugar *Artigo com relator*, associando o artigo a relatores, de tal forma que o autor do artigo não seja um destes relatores.

Para identificar uma alteração, pode-se usar uma lista, encabeçada pela conexão e seguida dos valores das variáveis livres da conexão, em ordem alfabética das variáveis. Por esta convenção, a alteração (*devolução de relato; a₁, r₁*) é a alteração definida pela conexão *devolução de relato*, com uma valoração que atribui à variável art o artigo a₁, e à variável relat o relator r₁.

Regras de funcionamento da rede

O efeito da ocorrência de uma alteração é o coincidente:

- desaparecimento das marcas indicadas pelos termos dos ramos alteradores de entrada da conexão (as marcas alteradas de entrada da alteração) e
- aparecimento das marcas indicadas pelos termos dos ramos alteradores de saída da conexão (as marcas alteradas de saída da alteração).

Exemplificando, a ocorrência da alteração (*devolução de relato; a₁, r₅*) faz com que desapareça a marca (*Artigo com relator, < a₁, r₅ >*), aparecendo a marca (*Relator livre, r₅*). Note-se que os ramos restauradores não são considerados no efeito da ocorrência da alteração, sendo considerados apenas na *causa* da alteração. Exemplificando, a ocorrência de uma alteração definida pela conexão *recebimento no prazo* não afeta a marcação do lugar *Recepção aberta*. Entretanto, ramos alteradores são considerados para a habilitação da alteração. Portanto, para que uma alteração definida por esta alteração esteja habilitada é necessária a presença da entidade em *Recepção aberta*.

O sistema se desenvolve através da *ocorrência* de alterações. Uma alteração só pode ocorrer, se estiver *habilitada* para tal. Uma alteração está habilitada frente a uma marcação, i.é, frente a um estado global do sistema, sempre que:

- as marcas de entrada da alteração (tanto as alteradas, quanto as restauradas) estejam presentes e
- as marcas de saída da alteração (tanto as alteradas, quanto as restauradas) estejam ausentes.

Note-se que uma rede CEM é um modelo causa-efeito, i.é, o sistema é modelado através da indicação das causas que levam uma alteração a ocorrer (a presença/ausência de marcas) e dos efeitos resultantes da ocorrência da alteração (o aparecimento/desaparecimento de marcas).

O ponto de partida do funcionamento do sistema é o estado representado pela chamada *marcação inicial* dos lugares da rede, que é a marcação vazia, no caso da rede exemplo. Nesta rede, dentro do estado inicial, estão habilitadas todas as alterações definidas pela conexão *submissão de artigo*, bem como a única alteração definida pela conexão *início da recepção*.

Quando uma alteração vai ocorrer, e se ela vai ocorrer, não está dito na rede nem é determinado pelas regras de funcionamento. As alterações habilitadas podem ocorrer a qualquer tempo.

Se duas alterações não possuem marcas de entrada nem marcas de saída comuns, diz-se que elas são *independentes*. Neste caso, quando habilitadas, elas podem ocorrer *concorrentemente*. Este é o caso das diversas alterações definidas pela alteração *submissão de artigo*, todas independentes entre si. Portanto, quando habilitadas, estas alterações podem ocorrer de forma concorrente.

No caso de duas alterações habilitadas não serem independentes, somente uma delas pode ocorrer frente a uma marcação. Este caso é conhecido por *conflito*, e serve para expressar situações de indeterminismo. Este é o caso das diversas alterações definidas pela conexão *distribuição para relato* para um valor da variável *art*, i.é para um artigo. Neste caso, podem existir muitos valores de *cj-relat* para os quais a alteração está habilitada. Obviamente, a alteração somente ocorrerá para um deles. A rede neste caso, indica que o modelador não quis ou não pode descrever o critério pelo qual um conjunto de relatores é escolhido para um artigo. Ele apenas indicou que devem ser selecionados três ou mais relatores, sem indicar qual o critério para a seleção.

Utilizando estas regras de funcionamento, a rede pode ser considerada um modelo completo de sistema: O conjunto dos estados do sistema é dado pelo conjunto de marcações alcançáveis a partir da marcação inicial e o conjunto de transições entre estes estados é dado pelas alterações de marcações.

Explicitando propriedades estáticas

Existem propriedades do sistema, que, mesmo estando descritas pela rede da figura 1, não aparecem representadas explicitamente. Estas propriedades podem ser identificadas através de simulação ou outra técnica de análise da rede, estando portanto representadas implicitamente. Entre estas propriedades implícitas se encontram as propriedades estáticas, cujo conhecimento é relevante para

o projeto de uma base de dados ou de estruturas de dados dentro de uma eventual implementação do modelo conceitual representado pela rede. Um exemplo de propriedade estática implícita é a de que, sempre que um relator r estiver com um artigo (entidade r aparece formando par com um artigo no lugar *Artigo com relator*), este mesmo relator não estará livre (entidade r não aparece no lugar *Relator livre*). Como é mostrado a seguir, propriedades estáticas implícitas como esta podem ser explicitadas ainda sob uso das redes CEM.

A explicitação de propriedades estáticas nas redes se baseia em uma idéia simples, primeiramente identificada por Petri no artigo, já clássico, [Petri76]. A idéia é a de que, ao se afirmar que nenhuma das alterações definidas por uma conexão está habilitada nas marcações alcançáveis da rede (nos estados do sistema), está se fazendo uma assertiva sobre este conjunto de marcações, que é a de que as combinações de marcas presentes e ausentes necessárias para habilitar estas alterações jamais aparecem dentro das marcações alcançáveis da rede.

Assim, usando conexões das quais se diz que elas jamais estão habilitadas em uma marcação da rede, pode-se explicitar propriedades estáticas da rede. A estas conexões jamais habilitadas dá-se a denominação de *conexões mortas*. Para manter a distinção chamamos as conexões vistas até aqui de *conexões vivas*. Conexões mortas são representadas por um símbolo especial, conforme mostrado na figura 2 (um retângulo contendo um "F" estilizado, lembrando a denominação original de "fact", dada as conexões mortas na literatura).

A figura 2 apresenta uma rede contendo alguns lugares da rede da figura 1, junto com conexões mortas que explicitam propriedades daquela rede. As conexões vivas não são representadas novamente apenas para não sobrecarregar a figura.

A conexão morta cm_3 , por exemplo, define uma alteração para cada par (artigo, relator). Uma destas alterações estaria habilitada caso o correspondente relator estivesse, em uma marcação, livre (relator no lugar *Relator livre*) e com um artigo (relator com artigo no lugar *Artigo com relator*), ao mesmo tempo. Como se sabe que em nenhuma marcação alcançável da rede isto acontece, definiu-se a conexão cm_3 como sendo uma conexão morta. Essa conexão morta representa portanto o fato de um mesmo relator jamais estar livre e com um artigo ao mesmo tempo.

É interessante observar que, considerando cada lugar da rede como um símbolo de relação, é possível, através de uma fórmula da linguagem de anotação assim estendida, representar aquilo que a conexão morta expressa. Esta fórmula constrói-se como a seguir descrito. Caso, em uma marcação, uma alteração definida pela conexão morta cm_3 estivesse habilitada, ter-se-ia a seguinte fórmula como verdadeira:

$$\exists art, rel (Artigo-com-relator(< art, rel >) \wedge Relator-livre(rel))$$

Entretanto, como não há na rede nenhuma marcação atingível que habilite a conexão morta, a negação da fórmula acima é verdadeira, chegando-se através

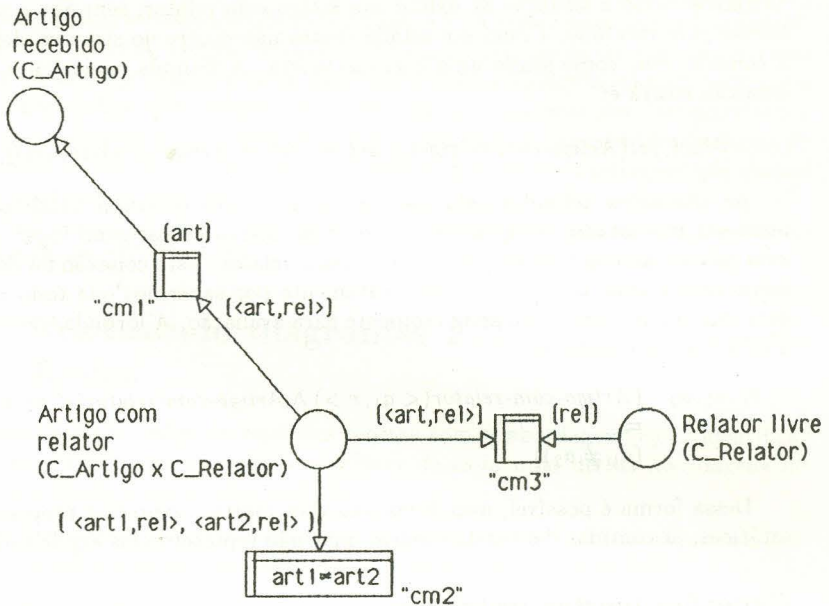


Figura 2: Exemplos de conexões mortas

de transformações triviais à seguinte fórmula:

$$\forall art, rel (\neg \text{Artigo-com-relator}(\langle art, rel \rangle) \vee \neg \text{Relator-livre}(rel))$$

Em [Heuser87a] é mostrado como, a partir de conexões mortas, é possível construir tais fórmulas. Quanto ao poder de expressão das conexões mortas, existem alguns resultados na literatura. Em [Reisig86] é provado, para redes anotadas com termos de ramo designativos de conjuntos mono-elementares, que com as conexões mortas, lá denominadas *fatos* , tem-se a mesma força de expressão que a da lógica clausal de predicados. Já em [Heuser87a] é mostrado que usando as redes CEM, nas quais os termos de ramos não se restringem a conjuntos mono-elementares, o poder de expressão aumenta, aparecendo, inclusive, quantificadores existenciais (que não aparecem na forma clausal), mas de forma limitada. Finalmente, em [Genrich87] é mostrado como, usando uma espécie de “skolemização”, é possível atingir o mesmo poder de expressão da lógica de predicados.

As alterações definidas pela conexão morta cm_1 estariam habilitadas se houvesse uma marcação, na qual um par (artigo,relator) estivesse no lugar *Artigo com relator* e o correspondente artigo não estivesse no lugar *Artigo Recebido*.

Teríamos então a situação de existir um artigo com relator, sem que o mesmo tivesse sido recebido. Como um estado destes não ocorre no sistema, define-se a conexão cm_1 como sendo uma conexão morta. A fórmula equivalente a esta conexão morta é:

$$\forall art, rel (Artigo-com-relator(\langle art, rel \rangle) \Rightarrow Artigo-recebido(art))$$

As alterações definidas pela asserção estática cm_2 estariam habilitadas se houvesse um estado, no qual existissem dois diferentes pares no lugar *Artigo com relator*, ambos correspondendo ao mesmo relator. Esta conexão foi definida como sendo uma asserção estática exatamente por sabermos que todo relator tem, em um momento, um artigo somente para avaliação. A fórmula equivalente a esta conexão morta é:

$$\begin{aligned} \forall r, a_1, a_2 \quad & (Artigo-com-relator(\langle a_1, r \rangle) \wedge Artigo-com-relator(\langle a_2, r \rangle) \\ & \Rightarrow \\ & (a_1 \neq a_2)) \end{aligned}$$

Dessa forma é possível, usando as conexões mortas, expressar propriedades estáticas, já contidas dentro do modelo, mas não representadas explicitamente.

Conexões mortas restritivas

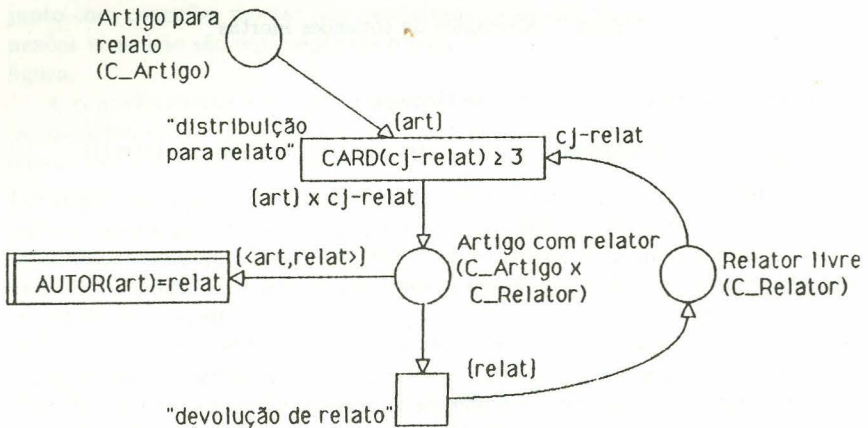


Figura 3: Conexão morta restringindo marcações alcançáveis

Uma outra possibilidade de uso das conexões mortas é a restrição do conjunto das marcações alcançáveis. Neste caso, uma marcação somente é alcançável pela ocorrência de alterações, quando ela não habilita nenhuma conexão morta.

Um exemplo desta aplicação de conexões mortas é dada na figura 3. Esta rede resulta de uma modificação da rede da figura 1. A restrição de que um autor não pode ser relator do próprio artigo foi retirada da fórmula da conexão *distribuição para relato* e é expressa através da conexão morta da figura, que especifica que no lugar *Artigo com relator* não pode aparecer nenhum par (artigo, relator), tal que o relator seja o autor do artigo. Portanto, a conexão morta exclui do conjunto de marcações alcançáveis da rede todas aquelas marcações que violam esta restrição de integridade.

Para exemplos mais detalhados desta forma de uso das conexões mortas ver [HeuserRichter86, Heuser89].

3. Traduzindo diagramas E/R em modelos de Redes

Comparando as redes de conexões mortas com a abordagem E/R, identifica-se uma série de pontos contra e a favor de cada uma destas abordagens de modelagem de propriedades estáticas:

- Redes com conexões mortas tendem a ser maiores e mais complexas que modelos equivalentes construídos segundo a abordagem E/R.
- Redes com conexões mortas são mais genéricas e tem poder de expressão maior que os diagramas E/R.
- A representação de propriedades estáticas dentro da abordagem de redes é feita através da *negação* da habilitação das alterações. Assim, não se expressa diretamente o fato desejado, mas um outro, de cuja negação se conclui aquele que se queria representar. Na opinião subjetiva dos autores, este é um ponto contra as redes.

Para contornar os inconvenientes acima citados, propõe-se, neste artigo, o uso combinado de ambas as técnicas.

Como primeiro passo em direção a este uso combinado, é necessário que os diagramas E/R possam ser compreendidos em termos de redes de Petri, i.é que a semântica de um diagrama E/R seja fornecida em termos da rede de Petri equivalente. Para tal, são apresentadas nesta seção as regras que permitem expressar um diagrama E/R como uma rede de Petri. Particularmente, o processo de tradução origina uma rede composta somente por lugares e conexões mortas.

Supõe-se, para entendimento desta seção, que o leitor já conheça a abordagem E/R. Esta abordagem aparece na literatura em muitas variantes e extensões (ver [Setzer86, Ceri83]). A variante utilizada neste texto, que usa a abordagem E/R como um modelo conceitual (modelo semântico) e não como um modelo de dados, baseia-se na apresentada em [Setzer86].

A seguir são apresentadas as regras de tradução de cada uma das construções básicas da abordagem E/R para seu equivalente em termos de redes.

Conjuntos de entidades

Um conjunto de entidades de um diagrama E/R é representado na rede de Petri correspondente a este diagrama através de um lugar. O domínio deste lugar é C_Ent, o conjunto de todas entidades do UD (ver figura 4):

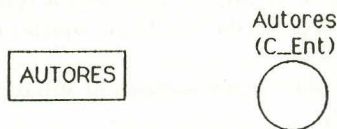


Figura 4: Tradução para redes: conjunto de entidades

Conjunto de relacionamentos

Um conjunto de relacionamentos é traduzido em um lugar, cujo domínio é o produto cartesiano das entidades, e que está ligado por conexões mortas aos lugares representativos dos conjuntos de entidades participantes do relacionamento. Estas conexões mortas representam restrições de integridade inerentes a qualquer conjunto de relacionamentos, bem como restrições específicas da classe (1:1, 1:n ou n:n) e da natureza (total ou parcial) do relacionamento em questão.

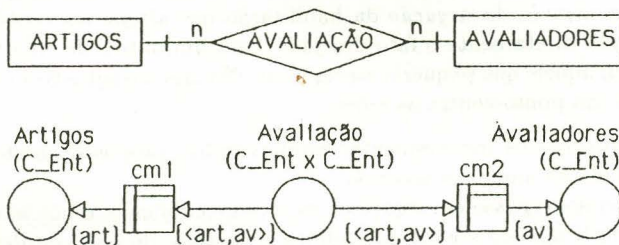


Figura 5: Tradução para redes: conjunto de relacionamentos n:n, parcial

Detalhando, cada conjunto de relacionamentos é traduzido para os seguintes elementos na rede de Petri correspondente ao diagrama E/R em questão (ver figura 5):

- Um *lugar*, cujo domínio é um produto cartesiano de entidades do UD. O número de elementos do produto deve ser idêntico ao número de entidades do relacionamento. As entidades de cada tupla do produto cartesiano são ordenadas lexicograficamente pelos nomes dos conjuntos de entidades e

pelos papéis das entidades no relacionamento. Para o caso de conjuntos de relacionamentos que possuem atributos *identificadores* esta definição muda (ver abaixo no item “conjuntos de atributos”).

- Para cada conjunto de entidades participante do relacionamento, uma *conexão morta* que expressa que, para cada relacionamento presente, a entidade correspondente também está presente. Ou seja, as entidades participantes de um relacionamento obrigatoriamente estão presentes nos respectivos conjuntos de entidades. Exemplos deste tipo de conexões mortas são cm_1 e cm_2 da figura 5, cm_3 e cm_4 da figura 6 e cm_6 e cm_7 da figura 7.
- A rede de Petri assim obtida representa relacionamentos da classe $n:n$ e de natureza parcial. Natureza parcial significa que a participação das entidades dos conjuntos de entidades não é obrigatória dentro do conjunto de relacionamentos, sendo indicada por um traço sobre a linha que une o símbolo do conjunto de relacionamentos com o símbolo do conjunto de entidades. Para as demais classes e natureza são necessárias conexões mortas adicionais na rede de Petri representativa do diagrama E/R:

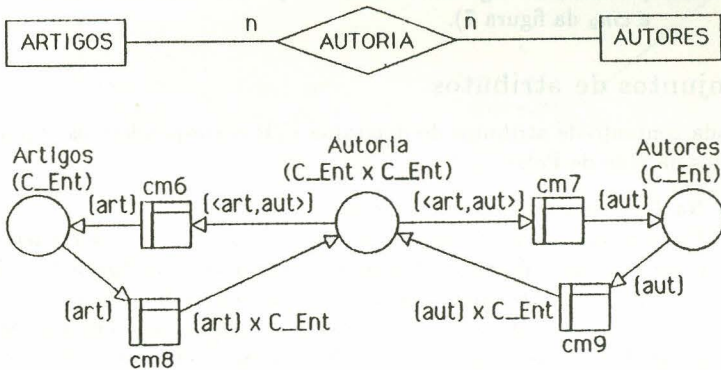


Figura 6: Tradução para redes: conjunto de relacionamentos 1:n, parcial

- Para especificar classes que incluem a sinalização “1” (classe 1:n e 1:1):
Para cada conjunto de entidades que esteja sinalizado por “1”, incluir uma conexão morta sobre o lugar representativo do conjunto de relacionamentos, que expressa que não existem duas tuplas no lugar, que sejam idênticas exceto na posição referente ao conjunto de entidades em questão (ver cm_5 na figura 6).

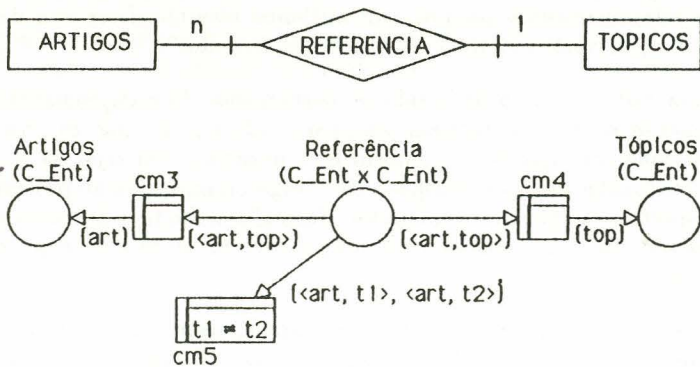


Figura 7: Tradução para redes: conjunto de relacionamentos $n:n$, total

- Para cada conjunto de relacionamentos *total* incluir uma conexão morta que expressa que, para cada entidade presente no lugar referente ao conjunto de entidades, existe ao menos uma tupla correspondente no lugar referente ao conjunto de relacionamentos (ver cm_8 e cm_9 da figura 7).

Conjuntos de atributos

A cada conjunto de atributos do diagrama E/R correspondem os seguintes elementos na rede de Petri:

- Na *Linguagem de anotação* da rede:
 - Um *símbolo de constante* designativo do conjunto de valores para o qual o atributo está definido (domínio do atributo). Na figura 8, C-N e C-E designam respectivamente o conjunto de nomes de pessoas e o conjunto de endereços. Note-se que, tendo sido definido como conjunto de valores de atributo, este conjunto não sofre alterações durante o funcionamento do sistema. Portanto, ele deve ser representado, na rede, na linguagem de anotação, e não como lugar da rede. Na tradução de diagramas E/R que não incluam o conceito de conjunto de valores de atributo, este símbolo de constante não é incluído na linguagem de anotação, usando-se em seu lugar o conjunto de todas as entidades do UD, C.Ent.
- Na *rede*:
 - Um *lugar*, cujo domínio é o produto cartesiano do domínio do lugar correspondente ao objeto ao qual o atributo está associado (conjunto de entidades ou conjunto de relacionamentos) pelo conjunto de valores do atributo.

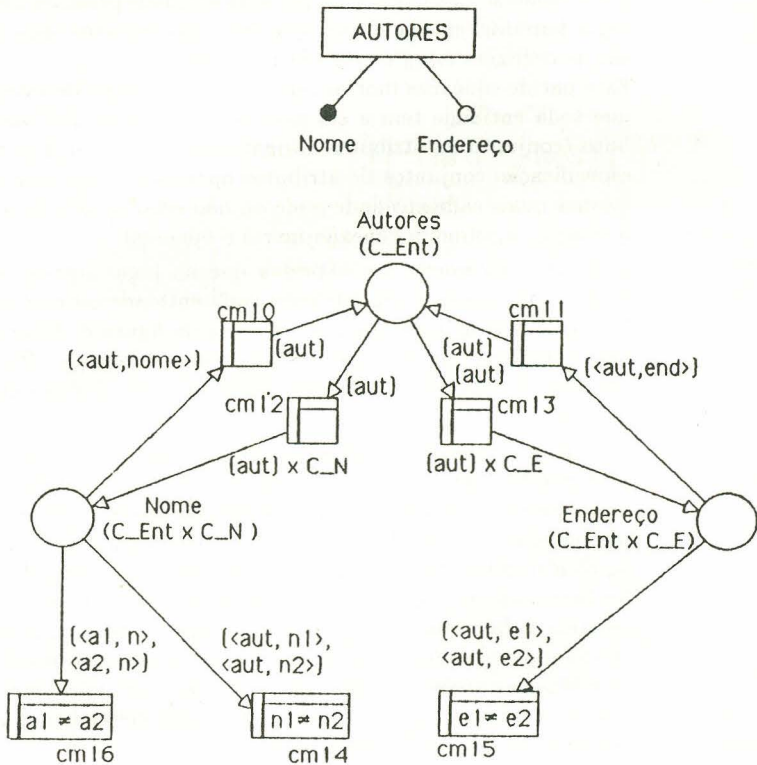


Figura 8: Tradução para redes: conjunto de atributos

No caso de atributos de entidades (figura 8), o domínio do lugar será o produto cartesiano $(C_Ent \times C_Val)$, onde C_Val é o símbolo de constante que designa o conjunto de valores do atributo em questão.

Para atributos de conjuntos de relacionamentos, o produto cartesiano é $(C_Ent \times \dots \times C_Ent \times C_Val)$, onde o número de ocorrências de C_Ent é determinado pela número de entidades que participam do relacionamento.

Note-se que, por este enfoque, considera-se um atributo como sendo um par formado pelo objeto ao qual o atributo está associado (entidade ou relacionamento) e pelo valor de atributo.

- um par de *conexões mortas*, onde uma conexão morta expressa que toda entidade presente no lugar correspondente ao conjunto de entidades ou relacionamentos também está no lugar correspondente ao

atributo (exemplos são as conexões cm_{12} e cm_{13} da figura 8) enquanto outra conexão morta garante que toda entidade presente neste último lugar tem uma entidade correspondente no primeiro lugar (exemplos são as conexões cm_{10} e cm_{11} da figura 8).

Este par de conexões mortas representa a restrição de integridade de que toda entidade tem a ela associada ao menos um valor de atributo (conjunto de atributos obrigatório). Caso deseje-se permitir a especificação conjuntos de atributos opcionais (conjuntos de atributos nos quais cada entidade pode ou não estar associada ao valor de atributo), a primeira conexão morta é opcional.

- Uma *conexão morta* que expressa que no lugar correspondente ao atributo há somente um par para cada entidade ou relacionamento. Exemplos são as conexões cm_{14} e cm_{15} da figura 8. Conexões deste tipo garantem que os atributos são mono-valorados. Para a especificação de atributos multi-valorados, deve ser desconsiderada esta conexão.
- No caso de *atributo identificador*, deve-se incluir uma *conexão morta* para garantir que, para cada valor de atributo, há somente um par (entidade/relacionamento, valor de atributo) aparecendo no lugar correspondente ao conjunto de atributos. Assim garante-se a unicidade do identificador. Um exemplo é a conexão morta cm_{16} da figura 8. No caso especial de um atributo identificador de relacionamento, é necessário incluir também o respectivo conjunto de valores no produto cartesiano que define o domínio do lugar correspondente ao conjunto de relacionamentos. Isto por que, neste caso, um relacionamento não é mais identificado somente pelas entidades dele participantes, mas também pelo atributo identificador.

Hierarquias de abstração

Consideram-se aqui apenas algumas formas de abstração: a generalização e o subconjunto [Ceri83]. A agregação é representada trivialmente, através do uso da tupla representativa de um relacionamento como entidade, não necessitando, portanto novas construções para sua representação na rede.

Para cada *generalização* no diagrama E/R, correspondem os seguintes elementos na rede:

- Uma *conexão morta* para cada lugar representativo de conjunto de entidades especializado (nível inferior da hierarquia), expressando que toda entidade ali presente também está presente no lugar representativo do conjunto de entidades genérico (nível superior da hierarquia). Exemplos destas conexões são cm_{17} , cm_{18} , cm_{20} e cm_{21} das figuras 9 e 10.
- Uma *conexão morta* que expressa que os lugares representativos dos conjuntos especializados são disjuntos, ou seja uma entidade só pode estar

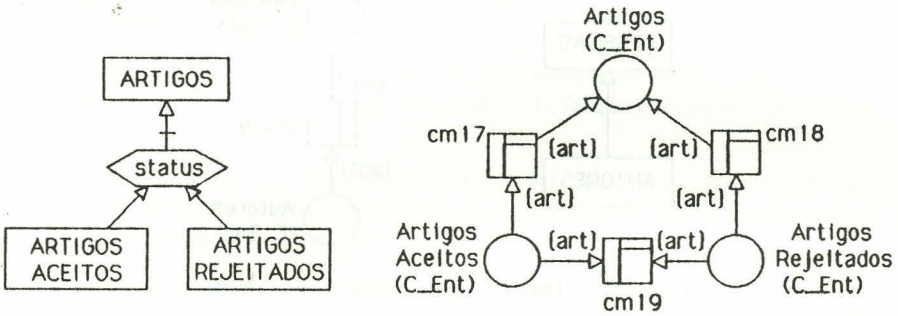


Figura 9: Tradução para redes: generalização parcial

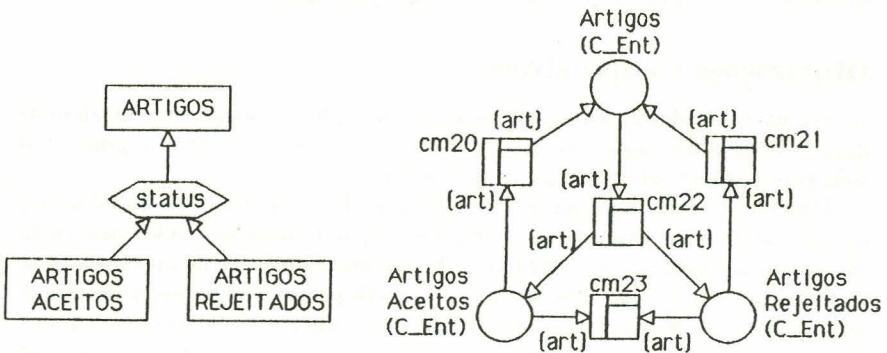


Figura 10: Tradução para redes: generalização total

presente em um destes lugares. Exemplos são as conexões *cm₁₉* e *cm₂₃* das figuras 9 e 10.

- As conexões mortas acima são suficientes para representar uma *generalização parcial*, onde uma entidade genérica pode ou não ser também uma entidade especializada. No caso de um *generalização total* deve-se incluir mais uma *conexão morta* para garantir que toda entidade presente no lugar representativo do conjunto de entidades genérica esteja presente em exatamente um lugar representativo de conjunto de entidade especializada. Exemplo é a conexão *cm₂₂* na figura 10.

Cada hierarquia de subconjunto do diagrama E/R (figura 11) é represen-

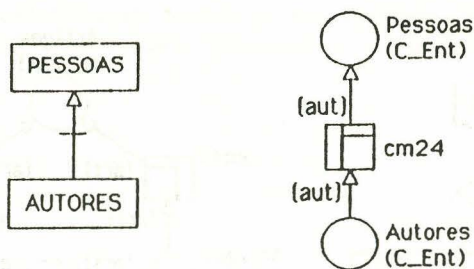


Figura 11: Tradução para redes: subconjunto

tada por uma conexão morta que expressa que cada entidade presente no lugar representativo do subconjunto também está presente no lugar representativo do superconjunto. Um exemplo é a conexão cm_{24} na figura 11.

Otimizações e alternativas

As regras de tradução acima apresentadas se aplicam ao dialeto da abordagem E/R escolhido para este artigo. Entretanto, o enfoque dado é genérico o suficiente para ser adaptado a outros dialetos.

Observe-se ainda a forma de representação de entidades. Propositadamente, não foi escolhida a forma usual de representação de uma entidade, através de uma tupla composta de seus atributos. Esta representação teria o inconveniente de, mais adiante, ao adicionar-se a modelagem de propriedades dinâmicas, impedir a ocorrência de alterações concorrentes sobre diferentes valores de atributos de uma mesma entidade. Optou-se por representar cada atributo como um par (objeto, valor de atributo), permitindo assim a alteração concorrente de valores de atributo de uma mesma entidade. Esta representação pode ser considerada análoga à proposta originalmente por Chen [Chen76], que representou um conjunto de atributos por uma função (lá chamada simplesmente de atributo) do conjunto de entidades (relacionamentos) para o conjunto de valores de atributo, considerando também um atributo como sendo um par.

As regras de tradução apresentadas são passíveis de otimizações, caso consideradas também as propriedades dinâmicas do sistema. Só faz sentido representar um conjunto de objetos através de um lugar em uma rede de Petri, quando existem alterações no sistema que modificam este conjunto. Portanto, seria cabível identificar, antes de fazer a tradução do diagrama E/R para redes de Petri, quais conjuntos de entidades/relacionamentos/atributos são alterados e quais não o são. Os conjuntos não alterados seriam representados na rede não por lugares, mas sim por símbolos da linguagem de anotação, ou seja por elementos do UD do modelo. Esta tradução poder-se-ia dar da seguinte forma:

- Cada conjunto de entidades não alterado seria representado por um conjunto no UD e, portanto, por um símbolo de constante designativo de um conjunto na linguagem de anotação.
- Cada conjunto de atributos não alterado seria representado por uma função no UD e, portanto, por um símbolo de função na linguagem de anotação.
- Cada conjunto de relacionamentos não alterado seria representado por uma relação no UD e, portanto, por um símbolo de relação na linguagem de anotação.

A distinção entre conjuntos não alterados e alterados refletir-se-ia também sobre a tradução das hierarquias de abstração. No caso de o conjunto de entidades de nível superior na hierarquia não ser alterado, ele seria representado, conforme a regra acima, por uma constante designativa de conjunto na linguagem de anotação. Neste caso, este conjunto poderia ser usado como domínio para os lugares representativos das entidades de nível inferior na hierarquia.

4. Uso combinado de diagramas E/R e redes de Petri

Tendo visto como é possível traduzir um diagrama E/R em uma rede de Petri, ou seja, sabendo como é possível entender um diagrama E/R em termos de redes, está-se na posição de combinar ambas técnicas. Como já foi mencionado, o objetivo final desta combinação é a construção de um modelo conceitual que descreva as propriedades estáticas e dinâmicas de um sistema.

Supõe-se que a construção de um modelo conceitual se dê em duas etapas: inicialmente, a modelagem das propriedades estáticas, a qual resultaria em um diagrama E/R, seguida da modelagem das propriedades dinâmicas, resultando no modelo conceitual completo. Para a execução desta segunda etapa há duas alternativas a serem seguidas:

1. A transformação direta do diagrama E/R obtido na primeira etapa em uma rede de Petri equivalente, utilizando as regras de tradução apresentadas na seção anterior. Desta forma, obtém-se uma rede de Petri contendo somente lugares e conexões mortas. Esta rede pode então ser complementada com conexões vivas e, eventualmente, também com novos lugares e conexões mortas, até se atingir o modelo conceitual completo.
2. Utilização do diagrama E/R como uma definição em mais alto nível de lugares e conexões mortas de uma rede de Petri. Nesta alternativa, as transições vivas são representadas diretamente sobre o diagrama E/R, que, eventualmente, pode ser enriquecido também com conexões mortas, não expressáveis na abordagem E/R, e com lugares, correspondentes a

conjuntos que não aparecem na modelagem E/R (modelagem de prazos, modelagem de entradas e saídas do sistema, etc.). Portanto, nesta alternativa, o modelo conceitual completo é um diagrama combinado de redes de Petri e E/R, mas que tem sua semântica dada pelas redes de Petri.

Neste artigo, optou-se pela segunda opção, por considerar que ela fornece diagramas menores e menos complexos.

Note-se que a especificação das propriedades dinâmicas na segunda etapa pode influenciar e permitir uma definição mais correta do próprio modelo de propriedades estáticas obtido na primeira etapa. A integração de propriedades na segunda etapa permite a identificação de eventuais deficiências no modelo de propriedades estáticas inicialmente obtido. Desta forma, estabelece-se uma interação entre as duas etapas da modelagem

4.1 Adicionando conexões vivas ao diagrama E/R

A figura 12 apresenta um diagrama E/R que poderia ter resultado da modelagem de propriedades estáticas para o sistema de preparação de conferências. Nas figuras 13, 14, 15 e 16 são modeladas propriedades dinâmicas deste sistema, através da adição de conexões vivas ao diagrama E/R, conforme a segunda alternativa acima descrita. Os diagramas foram divididos em diversas figuras apenas por questão de legibilidade. Elementos idênticos tem, nas diversas figuras, identificadores idênticos.

Na figura 13 está representada a recepção de artigos, junto com aquela parte do calendário da conferência que trata dos prazos de recepção. A conexão *recepção de artigo* define, para cada artigo, a alteração de recepção no prazo. Para que o artigo seja recebido é necessário que a recepção esteja aberta (entidade no lugar em *Recepção aberta*), que o artigo ainda não esteja cadastrado (ausente dos conjuntos *Artigos*, *Artigos para relato* e *Assuntos*) e que o tópico do artigo exista (tópico presente em *Tópicos*). O efeito da recepção é o cadastramento do artigo com seu tópico (entidades aparecem nos conjuntos *Artigos*, *Artigos para relato* e *Assuntos*). Note-se que o critério pelo qual o tópico de um artigo é determinado não está modelado na rede (conflito de alterações).

O fato de um mesmo artigo aparecer em dois lugares não indica a existência de redundância de informações: Ele indica apenas que a mesma entidade assume dois estados diferentes dentro do sistema. No caso, o lugar *Artigos* é o repositório de todos os artigos recebidos, impedindo que o mesmo artigo seja recebido mais de uma vez, enquanto o lugar *Artigos para relato* contém os artigos a serem distribuídos para relato (ver figura 14).

As conexões *início da recepção* e *fim da recepção* definem alterações do calendário do sistema. Os lugares *Recepção aberta* e *Recepção fechada*, parte do calendário do sistema, tiveram que ser acrescentados à rede por não constarem do diagrama E/R obtido na modelagem de propriedades estáticas. Estes lugares exemplificam a necessidade da adição de novos lugares (no caso, relativos ao

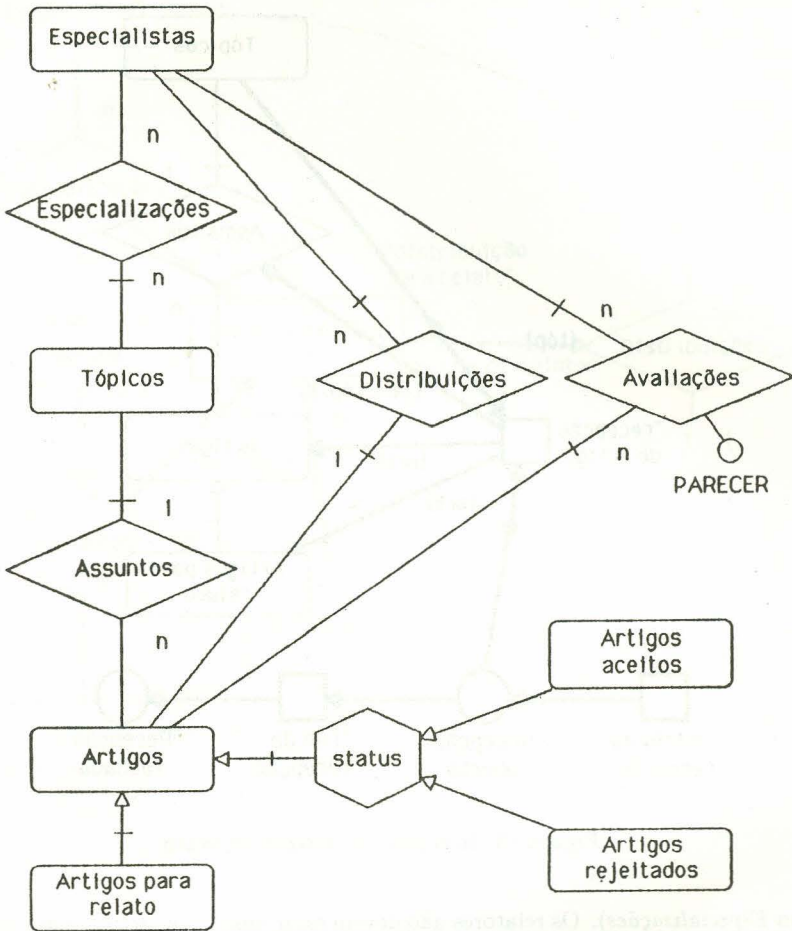


Figura 12: Diagrama E/R

fluxo de controle do sistema) durante a etapa da modelagem de propriedades dinâmicas.

Na figura 14 está representada a distribuição dos artigos entre os relatores. Cada artigo é distribuído a um conjunto de no mínimo três relatores (fórmula da conexão). O artigo não deve ter sido ainda distribuído (entidade deve estar presente em *Artigos para relato* e ausente de *Distribuições*). Os relatores devem ser especializados no tópico do artigo (relacionamentos devem estar presentes

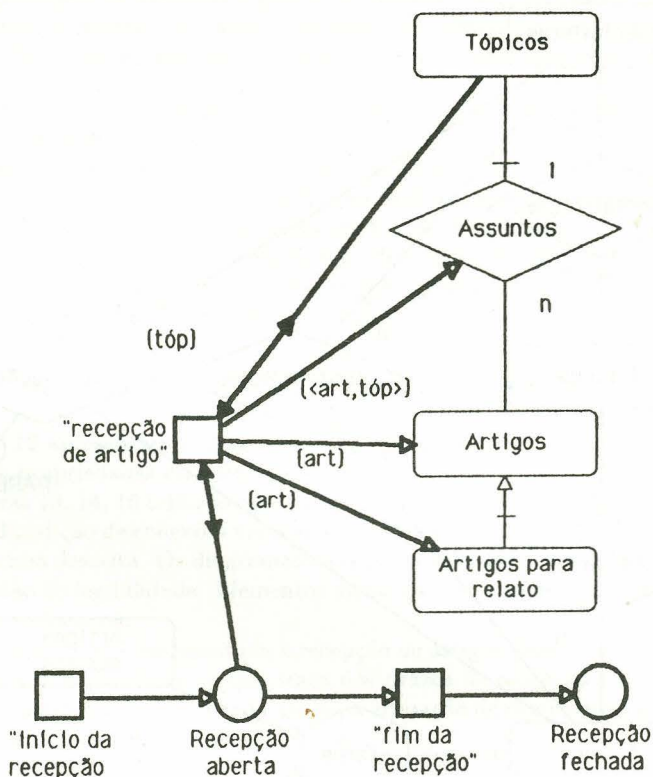


Figura 13: Recepção de artigos no prazo

em *Especializações*). Os relatores não devem estar ainda com artigos para relato (relacionamento *Distribuições* é de tipo 1:n).

Note-se, novamente, a existência de indeterminismo. O modelo não define quais dos especialistas no tópico de um artigo são selecionados nem quantos exatamente são selecionados. As restrições impostas são que sejam ao menos três relatores e que estes ainda não estejam ocupados.

Por efeito da ocorrência de uma alteração de distribuição um artigo deixa de estar disponível para relato (entidade desaparece do lugar *Artigos para relato*) e passa a estar relacionado com seus relatores (relacionamentos aparecem em *Distribuições*):

Na figura 15 está representada a emissão de parecer por um relator. Para que a emissão do relato aconteça, basta que o artigo tenha sido distribuído ao

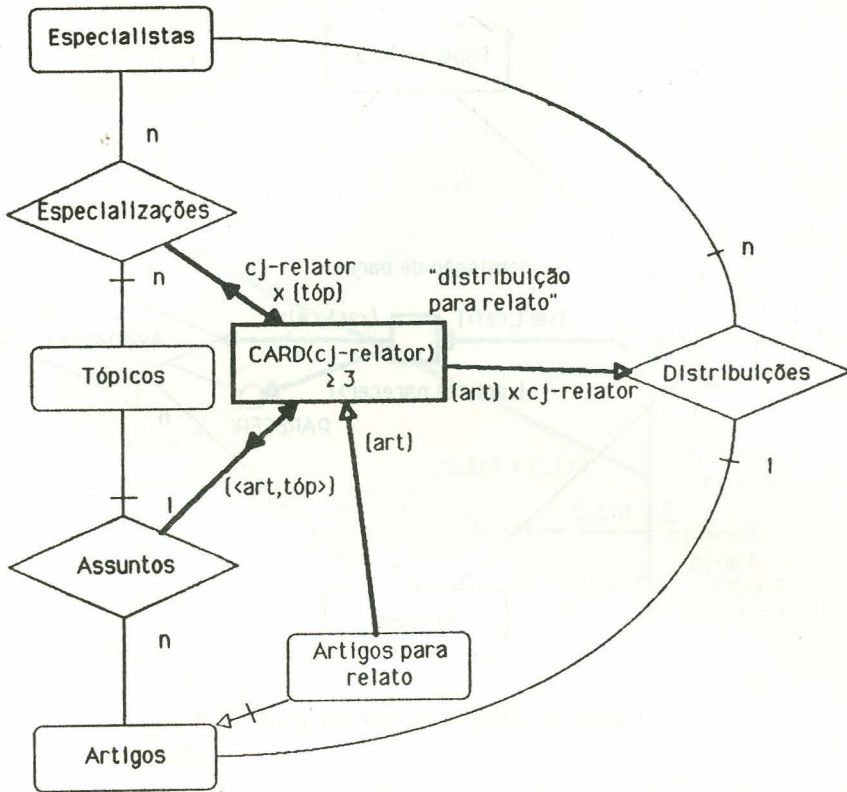


Figura 14: Distribuição de artigos para relato

relator (relacionamento presente em *Distribuições*) e conseqüentemente ainda não tenha sido avaliado (relacionamento ausente de *Avaliações*). O critério pelo qual é emitido um parecer não é determinado no modelo (conflito de alterações). A emissão de pareceres por diferentes relatores é concorrente.

Na figura 16 está representado o julgamento dos artigos. O julgamento somente ocorre após o fim da recepção dos artigos (entidade presente no lugar *Recepção fechada*) e quando não existirem mais artigos para distribuição (nenhuma entidade em *Artigos para relato*) nem em relato (nenhum relacionamento em *Distribuições*). Para o julgamento são usados todos os pareceres emitidos pelos relatores, o que está indicado pela notação especial do termo do ramo relativo ao conjunto de atributos *PARÉCER* (para mais detalhes sobre esta notação

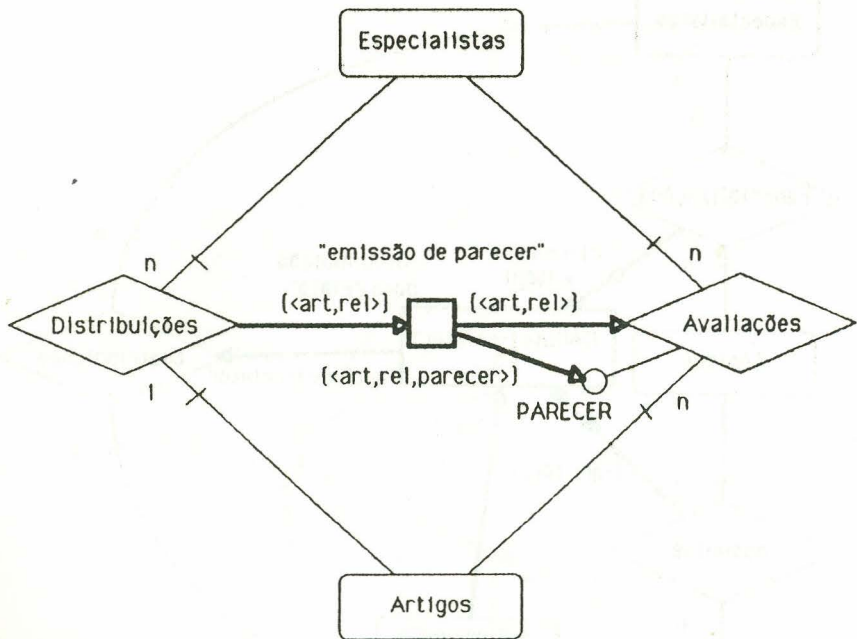


Figura 15: Emissão de parecer por relator

ver [Heuser89]). Por efeito da ocorrência da alteração de julgamento aparecem os artigos aceitos e os artigos rejeitados. O critério de julgamento propriamente dito não está sendo modelado.

4.2 Complementando o diagrama E/R com conexões mortas

Seguindo a técnica acima descrita é possível modelar todas as propriedades dinâmicas de um sistema. Entretanto, como já mencionado, a abordagem E/R permite a representação de somente algumas propriedades estáticas. As demais são normalmente descritas através de uma linguagem textual, para a qual, entretanto, nenhum padrão conseguiu se estabelecer. Este inconveniente é solucionado com a utilização de conexões mortas adicionadas ao diagrama E/R obtido na etapa de modelagem de propriedades estáticas. Em outras palavras, a utilização de conexões mortas estende a abordagem E/R para a obtenção de modelos completos de propriedades estáticas de sistemas.

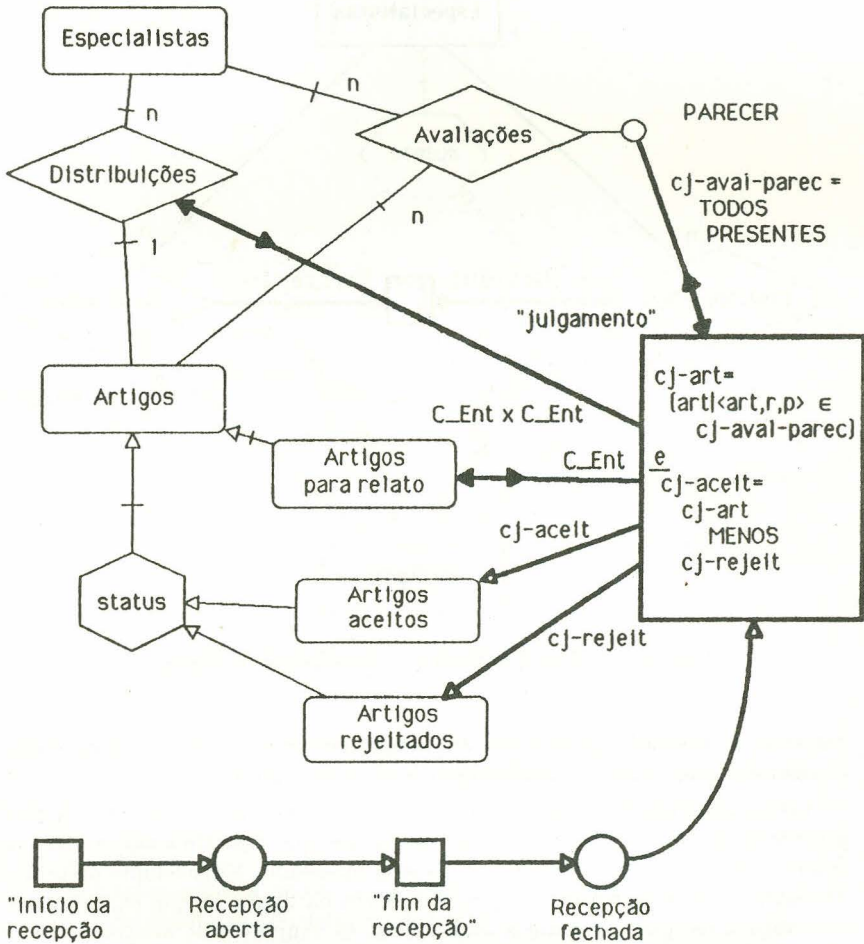


Figura 16: Julgamento dos artigos

Com as conexões mortas consegue-se modelar restrições bastante comuns da realidade e que são impossíveis de modelar na abordagem E/R, como a exclusão mútua entre conjuntos, restrições de cardinalidade, e restrições de domínios. Um exemplo consta na figura 17. A conexão morta da figura especifica que em nenhuma marcação da rede um mesmo par (artigo, relator) se encontra ao mesmo tempo nos relacionamentos *Distribuições* e *Avaliações*. Em outras

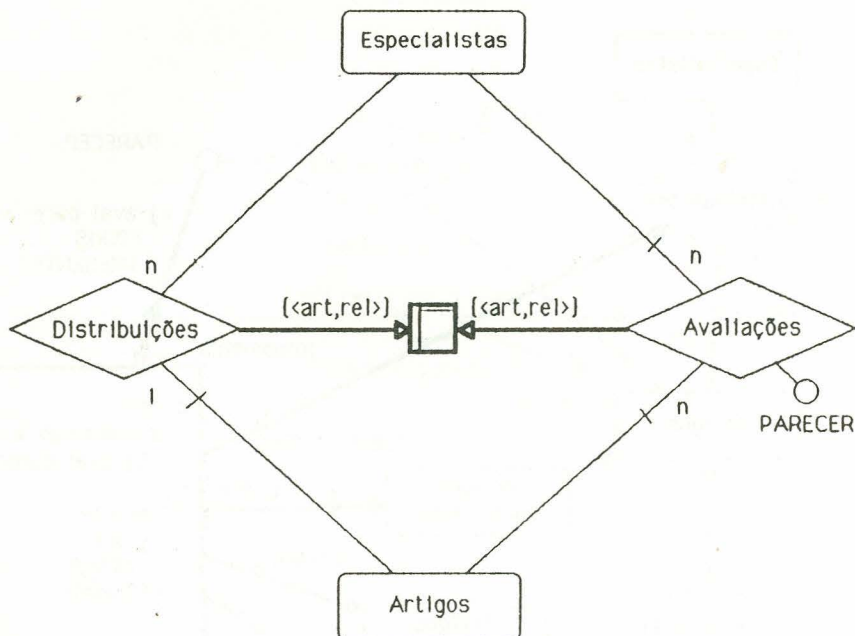


Figura 17: Mútua exclusão de distribuição e avaliação

palavras, a conexão expressa que um artigo não pode estar ao mesmo tempo distribuído a um relator e avaliado por este mesmo autor.

Outra aplicação das conexões mortas é na especificação de restrições de integridade *temporárias*, i.é restrições de integridade que vigoram somente durante determinadas fases do calendário do sistema modelado. Um exemplo deste tipo de restrição de integridade é a conexão morta da figura 18 que expressa que, enquanto a recepção de artigos está aberta, os conjuntos de artigos aceitos e rejeitados estão vazios.

5. Conclusões

No presente artigo mostrou-se como é possível combinar uma ferramenta para a modelagem de sistemas, cujo ponto forte é a descrição de propriedades dinâmicas de sistemas, as redes CEM (de Petri) com uma ferramenta largamente difundida na prática para a modelagem de propriedades estáticas de sistemas, os diagramas E/R. A idéia básica consta em substituir os lugares (que correspondem aos

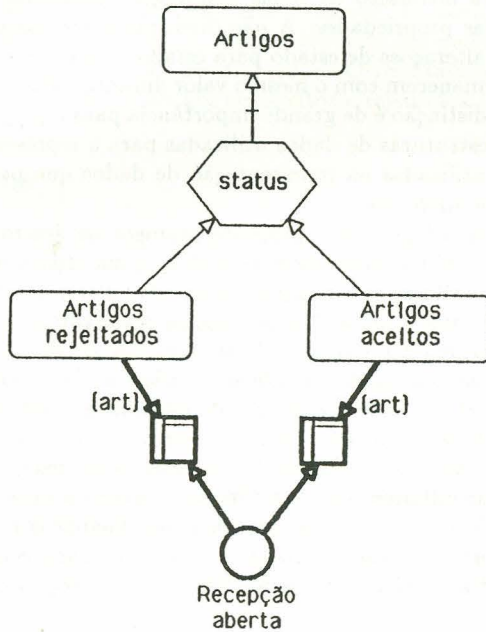


Figura 18: Restrição de integridade temporária

conjuntos de entidades/relacionamentos/atributos da abordagem E/R) e as conexões mortas (que correspondem às restrições de integridades) de uma rede de Petri por um diagrama E/R, cujo significado em termos de Redes é fornecido no artigo. Os diagramas assim obtidos são de dimensões menores que a rede de Petri equivalente. Além disso, desta forma, integra-se a etapa de modelagem de propriedades estática (modelagem de dados) com a etapa de modelagem de propriedades dinâmicas (modelagem de funções).

Estes modelos combinados se tornam particularmente atraentes para o uso prático, se apoiados por ferramentas de manipulação de redes de Petri. Um exemplo para este tipo de ferramentas que agora começam a surgir no mercado é o pacote DESIGN/CPN, disponível em estações SUN e Macintosh II, com funções de edição, simulação e análise de redes coloridas. Características marcantes do pacote são as de que uma rede não necessita ser representada em um único diagrama, podendo ser dividida em diversos diagramas, formando um modelo estruturado, bem como a possibilidade de estender e modificar o pacote, o que permitirá a sua extensão para redes como as propostas neste artigo, que incluem os conceitos da abordagem E/R.

O tratamento dado no artigo à modelagem de propriedades estáticas traz à luz um problema intrínseco de todas abordagens dedicadas exclusivamente à modelagem destas propriedades: A não distinção entre conjuntos alteráveis, que podem sofrer alterações de estado para estado do sistema, e conjuntos não alteráveis, que permanecem com o mesmo valor durante toda a vida do sistema. Obviamente, esta distinção é de grande importância para o projeto de uma base de dados, pois as estruturas de dados utilizadas para a representação de dados modificáveis e as utilizadas na representação de dados que permanecem fixos são completamente diferentes.

Além disso, a abordagem aqui proposta promete, se desenvolvida, fornecer insumos para a disciplina *modelagem de dados*. Uma crítica usualmente feita ao modelo E/R é a falta de critérios para que o modelador decida se uma determinada associação entre objetos deve ser representada como um atributo (associação entre uma entidade e um valor de atributo) ou como um relacionamento (associação entre entidades). Exemplificando, não são dados critérios para que um modelador decida se *cor* é um atributo da entidade *automóvel*, ou se existe um relacionamento *coloração* associando uma entidade *automóvel* com uma entidade *cor*. Observando as propriedades dinâmicas do sistema, entretanto, é possível determinar critérios para essa decisão. Assim a opção "atributo" somente seria escolhida, se dentro das propriedades dinâmicas não existissem alterações, cuja ocorrência resulta em aparecimento/desaparecimento de cores, mostrando não ser necessário considerar *cor* como um conjunto de entidades.

Apêndice – O sistema exemplo

Os exemplos de diagramas E/R e redes de Petri se referem a um sistema exemplo bastante utilizado na literatura [Ceri83,Olle82], o sistema de preparação de conferências de trabalho da IFIP – Federação Internacional de Processamento de Dados. Os exemplos que aparecem no artigo cobrem apenas uma pequena parte do sistema exemplo, concentrando-se no tratamento de artigos, desde a sua recepção até o julgamento final. As seguintes atividades do Comitê de Programa são consideradas:

- Artigos são recebidos pelo Comitê de Programa, desde que dentro do prazo de submissão. Cada artigo cobre um tópico da conferência. Um artigo é de autoria de diversos autores, mas um destes é o autor principal.
- Os artigos recebidos pelo Comitê de Programa são distribuídos para relatores especializados no tópico do artigo. O artigo é distribuído a pelo menos três relatores. Um relator não pode ser o autor principal do artigo. Enquanto o relator estiver com o artigo não deve receber um novo artigo para relato.
- Cada relator devolve o artigo ao Comitê de Programa com um parecer sobre o artigo.

- Certo tempo depois do final do prazo de recepção de artigos, após todos artigos terem sido analisados pelos relatores, o Comitê de Programa se reúne para o julgamento dos artigos, baseado nos pareceres dos relatores e em outros critérios não determinados. O resultado do julgamento é a divisão do conjunto de artigos em aceitos e rejeitados.

Referências

- [Brauer87] Brauer, W. et al. (eds.): *Petri Nets: Central Models and Their Properties*. Advances in Petri Nets 1986, Part I. Lecture Notes in Computer Science 254. Springer, Berlin-Heidelberg (1987)
- [Ceri83] Ceri, S. (ed): *Methodology and tools for database design*. North-Holland, Amsterdam (1983)
- [Chen76] Chen, P.P.-S.: The Entity-Relationship Model - Toward a Unified View of Data. *ACM Transactions on Database Systems* 1: 1 (1976) 9-36
- [GaneSarson84] Gane, C. e Sarson, T.: *Análise Estruturada de Sistemas*, LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro (1984).
- [Genrich87] Genrich, H: Predicate/Transition Nets. in: Brauer, W. et al. (eds.): *Petri Nets: Central Models and Their Properties*. Advances in Petri Nets 1986, Part I. Lecture Notes in Computer Science 254. Springer, Berlin-Heidelberg (1987) 207-247
- [Jensen87] Jensen, K: Coloured Petri Nets. in Brauer, W. et al. (eds.): *Petri Nets: Central Models and Their Properties*. Advances in Petri Nets 1986, Part I. Lecture Notes in Computer Science 254. Springer, Berlin-Heidelberg (1987) 248-299
- [Heuser87a] Heuser, C.A.: *Datenbankentwurf auf der Grundlage von Systembeziehungen*. GMD-Bericht 165, R. Oldenbourg Verlag, München (1987)
- [Heuser87b] Heuser, C.A.: Integrando propriedades estáticas e dinâmicas no modelo conceitual. In: 2 Simpósio Brasileiro de Banco de Dados, *Anais*, UFRGS/SBC, Porto Alegre (1987)
- [Heuser89] Heuser, C.A.: *Modelagem Conceitual de Sistemas*. (edição preliminar para a IV EBAI) Editorial Kapelusz S.A., Buenos Aires (1989)

- [HeuserRichter86] Heuser, C.A. and Richter, G.: On the relationship between conceptual schemata and integrity constraints on databases, in: Steel, T.B. and Meersman, R. (eds.): *Database Semantics (DS-1)*, North-Holland, Amsterdam (1986) pp.27-39
- [Huber89] Huber, P. et. al: Design/CPN - A Tool Package Supporting the Use of Colored Petri Nets. *Petri Nets News* (1989)
- [ISO82] van Griethuysen, J.J. (ed.): *Concepts and Terminology for the Conceptual Schema and the Information Base*. Publication Number ISO/TC97/SC5-N695. ANSI, New York (1982).
- [Olle82] Olle, T.W. (ed.): *Information Systems Design Methodologies: a Comparative Review*. North-Holland, Amsterdam (1982)
- [Peres89] Peres, E.M.: *Uma proposta para a especificação de propriedades estáticas e dinâmicas no modelo conceitual de sistemas*. Trabalho individual, UFRGS/CPGCC, Porto Alegre (1989)
- [Petri76] Petri, C.A.: *Interpretations of Net Theory*. Interner-Bericht ISF 75-07. Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung, Sankt Augustin (1975)
- [Peterson81] Peterson, J.L.: *Petri Net Theory and the Modeling of Systems*, Prentice-Hall (1981)
- [Reisig86] Reisig, W.: *Petri Nets: an Introduction*. Springer, Berlin-Heidelberg (1986)
- [RichterHeuser89] Richter, G. and Heuser, C.A.: *Nets of Places and Links: a coherent presentation of Petri Nets for system modelling*. (a ser publicado)
- [Setzer86] Setzer, W.: *Bancos de Dados*. Editora Edgar Blücher Ltda., São Paulo (1986)

Curriculum vitae (Carlos Alberto Heuser)

Doutor em Informática pela Universidade de Bonn em 1986, Mestre em Ciência da Computação pela UFRGS em 1977 e Engenheiro Eletrônico pela UFRGS em 1973. Professor Adjunto do Instituto de Informática da UFRGS e professor orientador do Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação da UFRGS. Áreas de interesse: modelagem de sistemas, modelagem de dados e funções, metodologias e ferramentas de desenvolvimento de software.

Curriculum vitae (Eduardo Meira Peres)

Bacharel em Ciências de Computação pela UFRGS em 1988, mestrando do Curso de Pós-Graduação de Ciência da Computação da UFRGS. Professor da Universidade de Caxias do Sul. Áreas de interesse: sistemas de informação, banco de dados, inteligência artificial.

Endereço dos autores:

CPGCC/II - UFRGS
Caixa Postal 1501
90001 Porto Alegre RS
e-mail: HEUSER@SBU.UFRGS.ANRS.BR