

ESPECIFICAÇÃO E VERIFICAÇÃO DO PROTOCOLO CMIP PARA GERENCIAMENTO DE REDE

ERNY OTTO LEHMANN JÚNIOR (1, 2)
ALOYSIO DE CASTRO PINTO PEDROZA (2)

SUMÁRIO

Este trabalho apresenta o projeto de um protocolo de gerenciamento de redes segundo o padrão CMIP definido pela ISO. O protocolo foi especificado formalmente na linguagem Estelle e submetido a um processo de verificação que incluiu a modelagem com redes de Petri e testes por simulação. A especificação em Estelle permitiu uma abordagem formal no desenvolvimento de uma implementação do protocolo CMIP.

- | | | | |
|-----|---|-----|--|
| (1) | BBM Participações S/A
Praça Pio X, 98/12º andar
Centro
Rio de Janeiro - R.J.
CEP: 20.091-040
Tel.: (021) 211-8576
Fax: (021) 263-9527
Telex: 2122774 | (2) | COPPE/UFRJ - Elétrica
EE/UFRJ - Eletrônica
Caixa Postal 68.504
Cidade Universitária - CT
Rio de Janeiro - R.J.
CEP: 21.945-970
Tel.: (021) 260-5010
Fax: (021) 290-6626
Email: ALOYSIO@COE.UFRJ.BR |
|-----|---|-----|--|

1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento de redes tem por objetivo manter o conjunto que compõe as redes funcionando de forma eficiente e com períodos de interrupção mínimos (*downtime*). As tarefas envolvidas podem variar de algo simples, como um reparo em um conector mal encaixado, a algo delicado como reprojeter uma rede para melhorar seu desempenho face a inclusão de novos equipamentos. A utilização de ferramentas de gerenciamento de redes valoriza a atuação preventiva, e não meramente reativa, em relação aos possíveis problemas.

A complexidade do gerenciamento de redes cresceu na medida em que as redes tornaram-se maiores, mais complexas e envolvendo um maior número de equipamentos heterogêneos. Normalmente, um único fornecedor não consegue suprir os elementos necessários ao gerenciamento da rede em todos os níveis. Uma opção é a utilização de produtos de fornecedores distintos, de modo a garantir este gerenciamento global. A figura do operador humano é, no entanto, necessária como interface entre os diversos sistemas. A padronização dos sistemas de gerenciamento de redes é o melhor caminho para a obtenção de um gerenciamento coerente e universal.

O objetivo do presente trabalho é estudar o protocolo de gerenciamento de redes CMIP (Common Management Information Protocol) com base em ferramentas de especificação e verificação formais.

A seção 2, a seguir, descreve alguns conceitos envolvidos no gerenciamento de redes. A seção 3 enumera as arquiteturas propostas para o gerenciamento de redes, destacando em particular o protocolo CMIP. A seção 4 apresenta a modelagem e a verificação do CMIP usando as redes de Petri. A seção 5 descreve a arquitetura usada para a modelagem e simulação com o uso da linguagem Estelle.

2. GERENCIAMENTO DE REDE

O gerenciamento de redes é abordado segundo duas estratégias para integração entre entidades gerenciadoras: o gerenciamento hierárquico (*umbrella management*) ou o gerenciamento com entidades pares (*peer-to-peer*), representados respectivamente nas figuras 2.1 e 2.2.

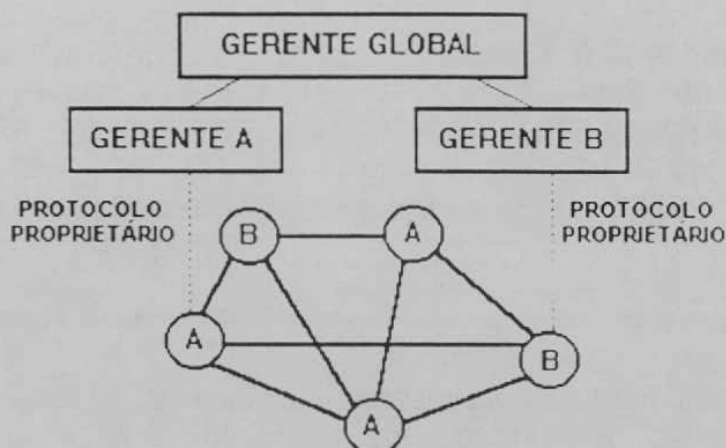


FIGURA 2.1: Gerenciamento hierárquico

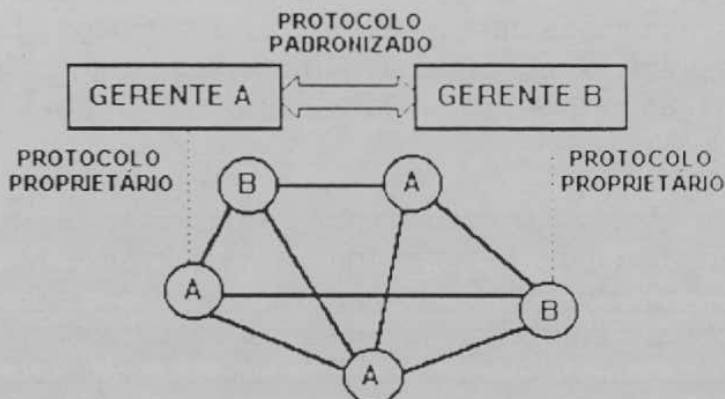


FIGURA 2.2: Gerenciamento com entidades gerenciadoras pares

No gerenciamento hierárquico, a tarefa de interfacear os diferentes gerentes é de competência de um gerente global. Cada gerente controla as partes da rede que lhe cabem, e os resultados são apresentados ao gerente de nível hierárquico superior através de um protocolo pré-definido. Essa

abordagem tem utilidade relativamente limitada, dada a dificuldade de consolidação das informações. O mais comum é uma integração feita somente a nível de alarmes indicando erros críticos.

No gerenciamento com entidades pares, os gerentes têm uma interface padronizada entre si, eliminando a necessidade do interfaceamento feito por terceiros.

A integração entre gerentes e objetos a serem gerenciados exige a utilização de módulos tradutores entre ambos [4]. Os módulos tradutores podem estar acoplados aos dispositivos a serem gerenciados, aos gerenciadores ou podem existir como módulos independentes (figura 2.3). A primeira abordagem é adotada quando há o interesse de tornar o equipamento gerenciável segundo uma arquitetura proprietária. A segunda abordagem é adotada em soluções padronizadas. A última solução é utilizada para resolver os problemas de gerenciamento de sistemas mais antigos que não suportam os padrões de gerenciamento disponíveis, sistemas que ficariam excessivamente penalizados com módulos de gerenciamento, ou mesmo no gerenciamento de pequenos módulos que não suportam a inclusão de módulos adicionais (por exemplo modems e multiplexadores). Neste caso, o módulo tradutor é conhecido como gerenciador procurador (*proxy*).

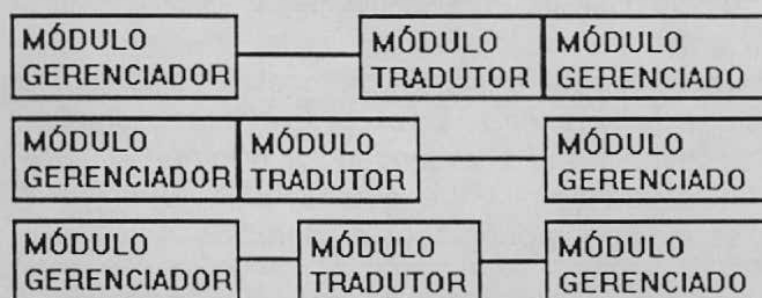


FIGURA 2.3: Formas de Implementação do módulo tradutor

3. ARQUITETURAS PARA GERENCIAMENTO DE REDE E O PROTOCOLO CMIP

3.1. MOTIVAÇÃO

O primeiro protocolo não proprietário para gerenciamento de redes foi o SNMP (Simple Network Management Protocol) desenvolvido para a arquitetura Internet. O SNMP foi concebido a partir de um acordo entre mais de 70 fabricantes de renome, contribuindo assim para torná-lo um padrão de mercado.

A ISO (International Organization for Standardization), por sua vez, desenvolveu um protocolo de gerenciamento denominado CMIP, a partir de uma solução proprietária da DEC (Digital Equipment Corporation). Até hoje são poucas as implementações a nível mundial deste protocolo na área de redes locais e de redes geograficamente dispersas (LANs e WANs), mas o

CMIP já vem ganhando aceitação na área de redes públicas de telecomunicações.

Uma terceira proposta, denominada CMOT (CMIP Over TCP/IP), visava a aplicação da solução OSI (Open Systems Interconnection) em redes TCP/IP. Esta proposta, que permite uma migração mais suave entre os dois mundos, não alcançou a popularidade desejada.

A figura 3.1 mostra as quatro combinações possíveis entre os protocolos de gerenciamento e as arquiteturas padrões. As vantagens do uso do protocolo SNMP na arquitetura OSI, no entanto, não são evidentes.

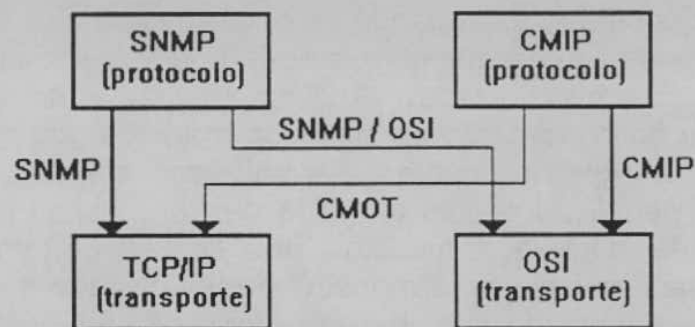


FIGURA 3.1: Alternativas para arquiteturas de gerenciamento de redes

A comparação direta entre os protocolos de gerenciamento SNMP e CMIP mostra que o primeiro é excessivamente simples para algumas aplicações não previstas em sua concepção original. O SNMP provê meios para a troca de informações entre a estação gerenciadora e o dispositivo gerenciado em serviços não orientados a conexão.

As deficiências do SNMP no quesito segurança tornaram-se evidentes em aplicações mais críticas, resumindo sua utilização ao monitoramento das redes. A partir de então foram propostos o SNMP seguro, o SMP (Simple Management Protocol) e a atual versão do SNMP, o chamado SNMPv2.

O CMIP é, por outro lado, um protocolo poderoso e abrangente, desenvolvido com o objetivo de se adequar ao nível de complexidade das redes. Entretanto, o padrão ainda não alcançou um grau de estabilidade suficiente para que seja plenamente aceito. Assim sendo, o presente trabalho tem como objetivo estudar o protocolo com o auxílio de ferramentas de especificação formais, buscando uma melhor compreensão de suas características, de sua aplicabilidade e das dificuldades envolvidas em uma implementação.

As projeções em termos de mercado demonstram que o SNMP continuará sendo um protocolo muito usado em pequenas redes. Por outro lado, o CMIP dominará o mercado de grandes redes corporativas e de redes públicas de telecomunicação, devendo substituir completamente o SNMP. O SNMP foi originalmente concebido para utilização por tempo limitado, mas a

pressão dos fornecedores e a demora da padronização do CMIP trouxeram uma sobrevida inesperada.

3.2. ARQUITETURA OSI DE GERENCIAMENTO

O modelo de gerenciamento de redes OSI exige funções de apoio em todas as sete camadas, restringindo-se assim ao gerenciamento de componentes OSI em um ambiente também OSI.

A função fundamental entre os sistemas de gerenciamento OSI é a troca de informações entre duas entidades (gerente e agente) por meios de um protocolo de comunicação. Essa funcionalidade é denominada CMISE (Common Management Information Service Element) e é dividida em duas partes:

- CMIS (Common Management Information Service): os serviços a serem oferecidos às aplicações de gerenciamento;
- CMIP: o protocolo de comunicação usado pelo CMISE.

Uma entidade que implementa o CMISE, oferece os serviços definidos no CMIS e executa o protocolo CMIP. Esta entidade, que corresponde ao mecanismo SASE (Special Application Service Element) da camada aplicação do modelo OSI, utiliza os elementos ACSE (Association Control Service Element) e ROSE (Remote Operations Service Element). Estes últimos correspondem ao mecanismo CASE (Common Application Service Element) da camada aplicação do mesmo modelo. O ACSE e o ROSE, por sua vez, se baseiam nos serviços oferecidos pela camada apresentação.

O ambiente de gerenciamento OSI está representado na figura 3.2. Este ambiente é composto de gerentes, agentes e objetos gerenciados. Um objeto gerenciado é uma instância representativa de um recurso sujeito ao gerenciamento. O uso dos princípios de orientação a objetos para definir as informações de gerenciamento é uma das idéias mais importantes da arquitetura OSI de gerenciamento de redes. Um objeto gerenciado é definido em termos de seus atributos, das operações a que pode ser submetido, das notificações que pode emitir e de seus relacionamentos com outros objetos. O conjunto desses objetos constitui a MIB (Management Information Base).

As interações que ocorrem entre as entidades são modeladas como operações de gerenciamento e notificações. Um gerente transmite operações de gerenciamento aos agentes, a fim de obter informações atualizadas sobre os objetos gerenciados e controlá-los. Um agente recebe as operações de gerenciamento emitidas pelo gerente e executa as ações necessárias sobre os objetos gerenciados. Um agente também transmite ao gerente as notificações geradas pelos objetos gerenciados sobre a ocorrência de eventos. É importante observar que os papéis de agente/gerente podem ser revertidos: um sistema pode ser gerente de dados recursos e estar sendo gerenciado em relação a recursos locais.

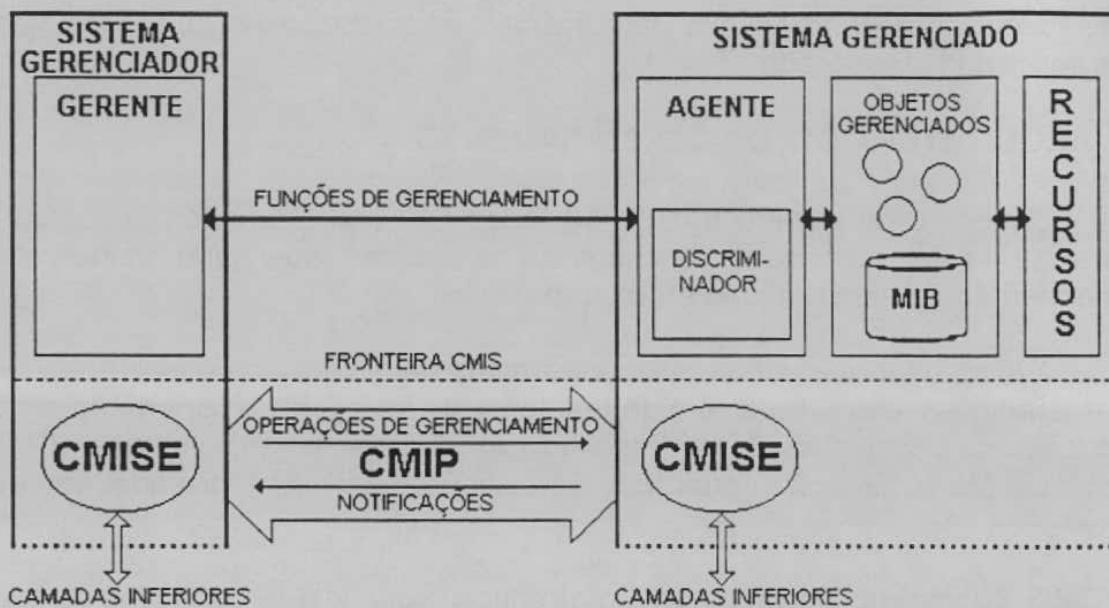


FIGURA 3.2: Ambiente de gerenciamento OSI

Parte dos serviços oferecidos pelo CMISE são mapeados sobre o ACSE e parte sobre o ROSE, conforme representado na figura 3.3.

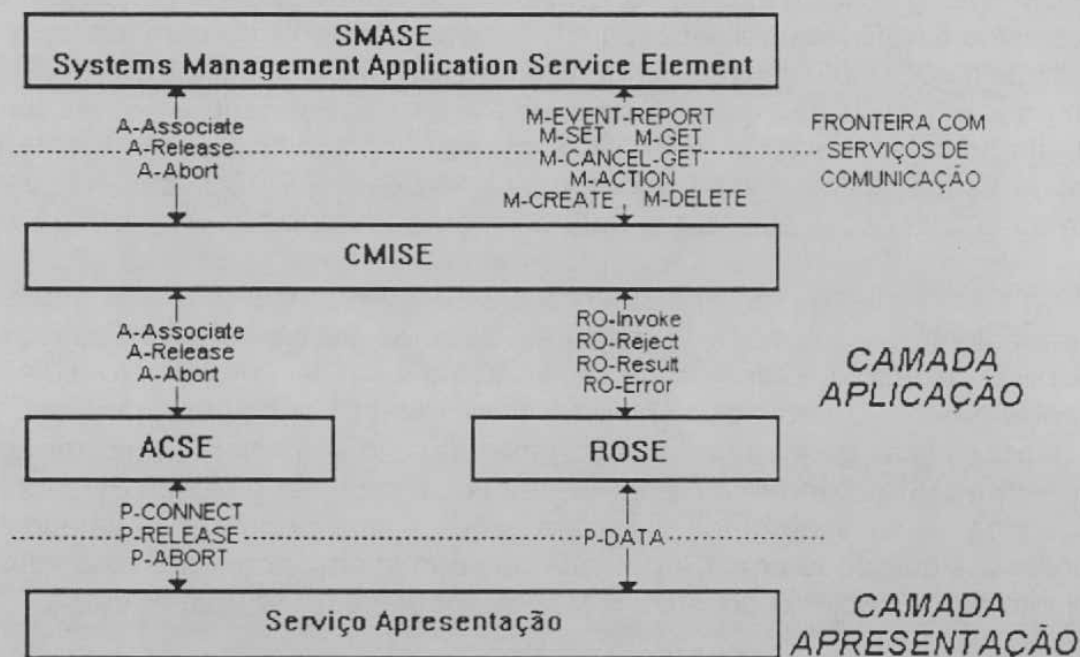


FIGURA 3.3: Serviços fornecidos e utilizados pelo CMISE

Os serviços de gerenciamento são orientados a conexão e seus usuários devem ser capazes de estabelecer associações a fim de realizar as operações de gerenciamento. Os serviços de estabelecimento de associação (A-Associate, A-Release e A-Abort) são oferecidos pelo próprio CMISE com características de *pass-through*, isto é, são mapeados diretamente em cima do ACSE, que efetivamente irá tratar as requisições.

O ROSE provê serviços de requisição de operações remotas em um ambiente distribuído de sistemas abertos. As PDUs do CMIP correspondentes às primitivas de gerenciamento (M-EVENT-REPORT, M-SET, M-GET, M-CANCEL-GET, M-ACTION, M-CREATE e M-DELETE), bem como os códigos de retorno quando for o caso de uma operação confirmada, são transmitidas com o uso do ROSE.

3.3. DESCRIÇÃO DO PROTOCOLO CMIP

Como foi observado, os serviços do CMISE fazem uso dos serviços oferecidos pelo ACSE e ROSE. Algumas características de operação destes elementos são descritas a seguir.

O ACSE é definido em 3 classes de associação (1, 2 e 3) acordadas no seu estabelecimento:

- Classe 1: somente o iniciador pode invocar operações;
- Classe 2: somente o respondedor pode invocar operações;
- Classe 3: o iniciador e o respondedor podem invocar operações.

As operações com o parâmetro de múltiplas respostas definidas no CMISE só podem ser executadas em associações com classe 3, a única usada pelo CMIP.

O ROSE é definido em 5 classes de operação (1, 2, 3, 4 e 5) que dizem respeito ao modo de resposta:

- Classe 1: síncrona, sempre reportando resultado (sucesso ou falha);
- Classe 2: assíncrona, sempre reportando resultado (sucesso ou falha);
- Classe 3: assíncrona, reportando somente a falha;
- Classe 4: assíncrona, reportando somente o sucesso;
- Classe 5: assíncrona, não reportando resultados.

Uma operação do ROSE é executada em modo síncrono quando o iniciador da requisição necessita de resposta antes de requisitar uma outra operação. Operações assíncronas são aquelas em que o iniciador pode continuar requisitando operações sem precisar esperar pelas respostas pendentes. O CMIP usa somente as classes de operação 1, 2 (para operações confirmadas) e 5 (para operações não confirmadas) do ROSE.

Os serviços oferecidos pelo CMISE (tabela 3.1) são agrupados em 3 categorias:

- Serviços de associação:
Usados para estabelecer associações de aplicação, baseados no ACSE
 - A-ASSOCIATE - solicita o estabelecimento de uma associação
 - A-RELEASE - solicita a liberação normal da associação
 - A-ABORT - informa a liberação abrupta da associação

- Serviço de notificação de gerenciamento:
Usado para o informe de notificações
 - M-EVENT-REPORT - reporta um evento de um objeto gerenciado
- Serviços de operações de gerenciamento:
Usados para a aplicação de operações de gerenciamento
 - M-GET - solicita a busca de informações de gerenciamento
 - M-CANCEL-GET - solicita o cancelamento de um serviço M-GET previamente requisitado e ainda pendente
 - M-SET - solicita a modificação da informação de gerenciamento
 - M-ACTION - solicita a execução de uma ou mais ações em cima dos objetos gerenciados
 - M-CREATE - solicita a criação de uma instância de um objeto gerenciado
 - M-DELETE - solicita a deleção de uma ou mais instâncias de objetos gerenciados

SERVIÇO	TIPO
ASSOCIAÇÃO	
A-ASSOCIATE	confirmado
A-RELEASE	confirmado
A-ABORT	não-confirmado
NOTIFICAÇÃO DE GERENCIAMENTO	
M-EVENT-REPORT	confirmado/não-confirmado
OPERAÇÕES DE GERENCIAMENTO	
M-GET	confirmado
M-CANCEL-GET	confirmado
M-SET	confirmado/não-confirmado
M-ACTION	confirmado/não-confirmado
M-CREATE	confirmado
M-DELETE	confirmado

TABELA 3.1: Serviços do CMISE

O serviço M-GET é o único que tem a opção de cancelamento (M-CANCEL-GET) definida pelo CMISE. Seria difícil assegurar a consistência da base de gerenciamento (MIB) se as operações que alteram seu conteúdo também pudessem ser canceladas durante a execução.

O CMISE define ainda duas facilidades adicionais para os serviços confirmados das operações M-GET, M-SET, M-ACTION e M-DELETE. A primeira é a possibilidade de operação em mais de um objeto pela mesma requisição, segundo critérios adicionais fornecidos. A segunda é a existência de respostas múltiplas para as requisições. Uma resposta é retornada para cada objeto selecionado.

A seleção de múltiplos objetos gerenciados envolve 3 conceitos: escopo, filtragem e sincronismo. O parâmetro escopo permite a focalização de um subconjunto dentre os objetos manipulados por uma operação. Este

parâmetro é definido baseado na estrutura hierárquica da MIB. O parâmetro filtragem consiste na aplicação de testes em cima dos objetos selecionados através do escopo. Se nenhum filtro for especificado, assume-se que todo o conjunto previamente selecionado será submetido à operação especificada. Por último, o parâmetro sincronismo permite que as operações sobre um conjunto de objetos selecionados sejam sincronizadas. Este parâmetro define se a operação deve ser atômica (a requisição só é realizada se todos os objetos puderem ser processados) ou "máximo esforço" (será processado o maior número de objetos possível).

O diagrama de sequência temporal do serviço M-ACTION é apresentado como exemplo nas figuras 3.4, 3.5 e 3.6. Este serviço possui os tipos de operação confirmada e não-confirmada, além de permitir respostas múltiplas. Os demais serviços têm comportamento similar.

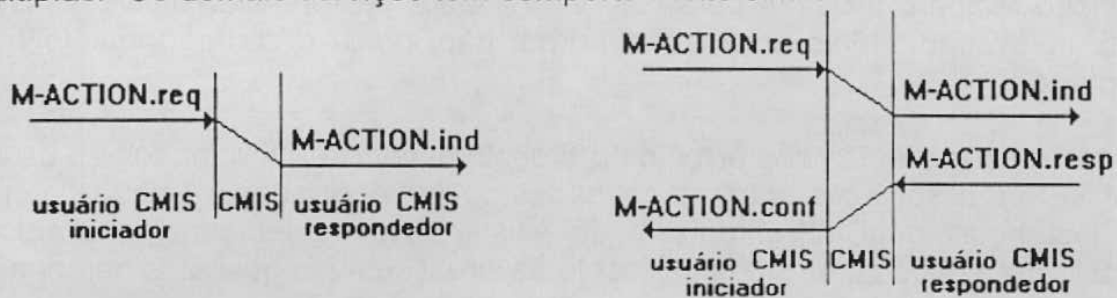


FIGURA 3.4: Serviço M-ACTION, modo não-confirmado

FIGURA 3.5: Serviço M-ACTION, modo confirmado, resposta simples

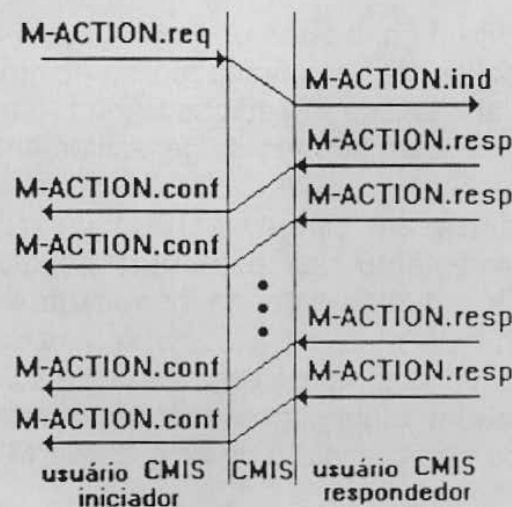


FIGURA 3.6: Serviço M-ACTION, modo confirmado, respostas múltiplas

Cada requisição recebe um identificador também presente nas primitivas de resposta. No caso de uma requisição para vários objetos, haverá uma resposta para cada ação requisitada. Todas as respostas são identificadas com um identificador de elo, cujo valor é o mesmo do identificador da requisição inicial. Cada resposta conterá ainda um identificador próprio. O término da sequência será sinalizado com uma resposta final sem o identificador de elo e com um identificador igual à requisição inicial.

Os serviços CMISE podem ser rejeitados pela entidade respondedora, que ignora a requisição em uma operação em modo não-confirmado. Em uma operação em modo confirmado, a entidade respondedora retornará erro, que é sinalizado para o usuário CMISE que originou a requisição.

O ROSE especifica 2 tipos de rejeições. O primeiro, sinalizado pela primitiva RO-REJECT-P, indica que a PDU do CMISE foi rejeitada. A razão é especificada como parâmetro de retorno. Neste caso, a PDU não atinge seu destino. A norma do CMIP não indica que ação tomar em tais situações. O segundo tipo de rejeição, sinalizado pela primitiva RO-REJECT-U, indica que a máquina de protocolo CMIP (CMIPM - Common Management Information Protocol Machine) receptora da invocação rejeitou a PDU. A razão também é especificada como código de retorno e é equivalente a um erro de execução de um serviço, sendo reportada ao usuário CMISE. Esse segundo tipo de rejeição também é usado pelo CMIPM iniciador para rejeitar uma resposta a uma invocação. Mais uma vez a norma não indica o comportamento a ser adotado.

A norma indica que erros de protocolo devem ser informados ao usuário CMISE e a associação entre as entidades devem abortadas. A partir de então as instâncias do CMIPM deixam de existir. Na modelagem do protocolo, considerou-se como erros de protocolo as situações não descritas na norma.

4. MODELAGEM E VERIFICAÇÃO DO PROTOCOLO CMIP EM REDE DE PETRI

As redes de Petri são bastante empregadas na descrição formal e verificação de protocolos de comunicação. As redes de Petri e suas extensões, em particular as redes Predicado/Ação, têm sido apontadas como bastante úteis em projetos de sistemas de gerenciamento e suas interfaces [6].

As redes de Petri foram usadas para modelar a parte de controle do protocolo CMIP. O tratamento das estruturas de dados foi abstraído. Os modelos foram extraídos diretamente da norma da ISO. Os resultados da análise, obtidos a partir de uma arquitetura verificada com técnicas formais [13], permitiram o desenvolvimento de uma especificação completa e confiável. Foi possível ainda estudar alguns pontos considerados não completamente descritos pela norma de padronização do protocolo CMIP.

Foram modelados o protocolo de gerenciamento CMIP, bem como os serviços envolvidos na arquitetura (CMISE, ACSE, ROSE e serviços da camada apresentação). Inicialmente foram usadas redes de Petri do tipo Predicado/Ação. A partir deste modelo foram obtidos modelos usando redes de Petri clássicas. Estes modelos foram analisados com o programa ARP [13].

Os dados de entrada do programa ARP devem estar presentes em um arquivo descritor do modelo, obtido a partir da rede de Petri correspondente.

Como resultado temos a geração de um conjunto de arquivos de saída, conforme relacionado a seguir:

- Arquivo descritor da rede de Petri;
- Propriedades verificadas;
- Marcações acessíveis pela rede;
- Grafo de acessibilidade da rede;
- Invariantes lineares de lugar encontrados;
- Invariantes lineares de transição encontrados.

O modelo completo dos serviços CMISE em redes de Petri é apresentado no anexo A. Segundo a análise com o ARP, a rede de Petri é binária, viva, reiniciável e estritamente conservativa.

A modelagem do serviço também serve de entrada para a definição de sequências de teste. Sequências de teste geradas manualmente não são capazes de realizar testes exaustivos da especificação. Para superar este problema, pode-se usar sequências de testes geradas automaticamente com ferramentas computadorizadas. Sistemas como o descrito por SILVA em [16] executam tais tarefas. Porém, dada a complexidade do modelo completo, extrapola-se com rapidez os limites impostos pela ferramenta. Assim sendo, as sequências de testes foram geradas de forma manual, procurando verificar o comportamento lógico da especificação.

Na modelagem do protocolo, as diversas primitivas foram descritas separadamente por questões de simplicidade. A especificação formal final deve, no entanto, prever o entrelaçamento de chamadas.

O modelo do serviço M-ACTION é apresentado como exemplo no anexo A. Segundo a análise, a rede de Petri usada para modelar o serviço é uma rede binária, viva e reiniciável. A rede não é estritamente conservativa.

As seguintes considerações são feitas:

- A situação inicial considera que a associação foi previamente estabelecida entre as entidades;
- Em caso de liberação abrupta da associação, em virtude de um erro de protocolo, ocorrerá uma transição espontânea da conexão fechada para a conexão aberta. Tal artifício representa uma nova associação estabelecida entre as entidades;
- O meio de comunicação foi modelado como *full-duplex* com fila FIFO de uma posição. Dessa forma, o iniciador pode transmitir apenas uma PDU por vez, devendo esperar pela liberação do meio para a próxima transmissão. O meio de comunicação disponível para o iniciador (o gerente, no caso do serviço M-ACTION) é representado pelo estado EMV_INIC. O respondedor libera o meio para novas transmissões quando do tratamento da mensagem. A mesma representação foi utilizada para a definição do estado do meio disponível para as transmissões oriundas do respondedor (o agente, no caso do serviço M-ACTION).

Outra observação, ainda que não pertinente ao exemplo citado, é com relação ao tratamento dispensado aos serviços M-GET e M-CANCEL-GET na modelagem do protocolo. O serviço M-CANCEL-GET é usado pelo usuário CMISE para requisitar o cancelamento da invocação de um M-GET outrora requisitado e que ainda se encontra pendente. Neste contexto, seria interessante estudar os dois serviços em um só modelo, o que só não foi possível pelo grande número de estados surgidos na análise, extrapolando mais uma vez os limites impostos pelas ferramentas disponíveis.

5. MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO PROTOCOLO CMIP EM ESTELLE

5.1. ARQUITETURA DA ESPECIFICAÇÃO

A arquitetura adotada para a especificação em Estelle é mostrada na figura 5.1. Duas instâncias CMISE (A e B) controlam a troca de dados entre dois usuários CMISE (UA e UB). As instâncias CMISE são conectadas através do meio de comunicação que corresponde ao ACSE e ao ROSE da camada aplicação, conforme a figura 5.1.

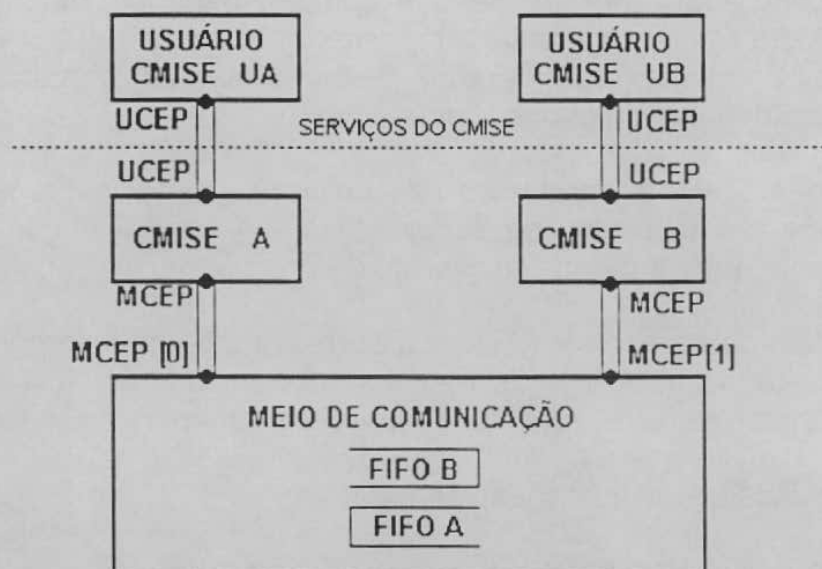


FIGURA 5.1: Arquitetura da especificação do CMIP em Estelle

A especificação em Estelle foi construída a partir do modelo em redes de Petri do CMIP. Dessa forma, obteve-se uma especificação a partir de um modelo previamente verificado. O método de verificação através de redes de Petri possui a vantagem de testar exaustivamente a especificação, uma vez que todas as sequências possíveis de disparo das transições do modelo são pesquisadas. Uma limitação da metodologia adotada refere-se à possibilidade de introdução de erros humanos durante a passagem da especificação para Estelle. Outra limitação corresponde à necessidade de simplificação dos modelos para permitir a análise com ferramentas computadorizadas. Frequentemente, esta limitação impede que a especificação seja verificada por

completo, exigindo a construção de modelos simplificados, ou modelos separados para diferentes trechos da especificação.

A estrutura da especificação em Estelle do serviço M-ACTION do CMISE é apresentada no anexo B.

Para uma verificação segura da especificação em Estelle, é necessário realizar um procedimento de simulação, tal qual foi feito com os modelos em redes de Petri. O método de verificação por simulação realiza testes diretos com a especificação em Estelle, proporcionando portanto resultados bastante confiáveis.

O procedimento de simulação da especificação utilizou os programas CE (Compilador Estelle) e SPDE (Simulador de Protocolos Descritos em Estelle) [14]. Estes programas fazem parte de um sistema de auxílio ao projeto de protocolos para a linguagem Estelle [15]. A figura 5.2 detalha a sequência adotada para a simulação da especificação.

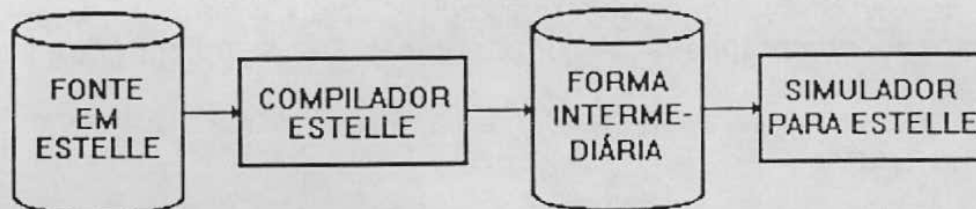


FIGURA 5.2: Simulação da especificação em Estelle

As sequências de testes usadas no processo de simulação foram geradas manualmente, procurando verificar o comportamento lógico da especificação. No caso do serviço M-ACTION, foram testadas as seguintes sequências:

- Estabelecimento da associação;
- Serviço não confirmado;
- Serviço confirmado com respostas simples e respostas múltiplas;
- Liberação normal da associação.

As sequências de teste acima foram combinadas de diversas maneiras procurando verificar o comportamento lógico da especificação para um determinado serviço. A atual implementação do CMIP em Estelle não cobre os casos de liberação abrupta da associação causadas por erros detectados pela máquina de protocolo CMIP. No entanto, já está especificado o comportamento do sistema quando das liberações abruptas da associação por consequência de problemas de comunicação nas camadas inferiores.

O simulador SPDE dispõe de facilidades para testes que incluem a entrada de interações, inserção de pontos de parada e a obtenção de traços da simulação. Outra facilidade é a possibilidade de definição de intervalos de tempo no qual a mensagem deve ser depositada na interface com o usuário.

Uma vez definida a excitação ao sistema iniciador, são também definidas interações condicionadas, isto é, as respostas do sistema respondedor. O uso de várias interações condicionadas a uma mesma excitação em diferentes intervalos de tempo, permitiram o teste das respostas múltiplas previstas na especificação do CMIP.

Uma deficiência do simulador é a de não possuir passagem de parâmetros para as primitivas de/para o usuário da implementação em Estelle. Dessa forma, por exemplo, não seria possível distinguir uma resposta positiva da negativa após a execução de um serviço confirmado. Decidiu-se pela alteração das primitivas existentes de modo que elas possam externar seu conteúdo. Essa solução foi considerada não prejudicial pois não serão utilizadas ferramentas de geração automática de código na implementação do protocolo.

Verificando-se o comportamento da especificação através de interações com o operador e pela verificação dos traços de simulação, foram corrigidas algumas falhas decorrentes unicamente da codificação inicial em Estelle, durante as diversas sequências realizadas. Não ocorreram erros lógicos decorrentes da compreensão da norma, graças ao estudo com redes de Petri realizados na etapa anterior.

6. CONCLUSÃO

O presente estudo do protocolo CMIP permitiu a construção de modelos e especificações formais testadas, os quais servem de base para futuras implementações de ferramentas de gerenciamento, menos sujeitas a erros e inaderências ao padrão.

Os procedimentos de verificação com redes de Petri e de simulação em Estelle não podem ser considerados definitivos para a especificação. Para tanto seriam necessários testes exaustivos com sequências geradas por computador. De qualquer forma, procurou-se eliminar todos os erros detectados por sequências de testes geradas manualmente.

Seja qual for a arquitetura adotada, os protocolos padronizados para gerenciamento de redes são apenas ferramentas e não soluções dos problemas que constituem a gerência de redes. A implantação de um protocolo aberto para gerência permite colocar um grande volume de informações a disposição do administrador da rede. No entanto, ainda fica a cargo do elemento humano a tarefa de tratar todos esses dados, diagnosticar corretamente uma situação anormal e decidir pela melhor estratégia preventiva/corretiva.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ISO/IEC 9595: 1991 (E) - Information Technology - Open Systems Interconnection - Common Management Information Service Definition, International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission, abril 1991.
- [2] ISO/IEC 9596-1: 1991 (E) - Information Technology - Open Systems Interconnection - Common Management Information Protocol Definition, International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission, junho 1991.
- [3] STALLINGS, William, "SNMP, SNMPv2, and CMIP: The Practical Guide to Network Management Standards", Addison-Wesley Publishing Company, julho 1993.
- [4] BRISA, "Gerenciamento de Redes - Uma Abordagem de Sistemas Abertos", Makron Books, 1992.
- [5] YEMINI, Yechiam, "The OSI Network Management Model", IEEE Communications Magazine, maio 1993.
- [6] BEAN, Angelo; WOOD, Desmond; FAIRCLOUGH, W., "Specifying Goal-Oriented Network Management Systems", IEEE Communications Magazine, maio 1993.
- [7] RAMAN, Lakshmi, "CMISE Functions and Services", IEEE Communications Magazine, maio 1993.
- [8] PRESUH, Randy, "Considering CMIP", Data Communications, março 1990.
- [9] MAZDA, Fraidoon, "Convergence or Collision: SNMP and CMIP", Telecommunications, setembro e novembro 1991.
- [10] BENNETT, Geoff, "The Simple Network Management Protocol", Telecommunications, fevereiro 1990.
- [11] LEHMANN, E. O. Jr.; SANCHEZ, L. M.; ALMEIDA, N. N., "Estudo do Protocolo ACSE: Especificação e Validação com Redes de Petri; Especificação em ESTELLE e Simulação; Implementação", Trabalho desenvolvido durante a disciplina "Arquiteturas de Protocolos de Comunicação para Redes de Computadores", COPPE/UFRJ, Programa de Engenharia Elétrica, 1990.
- [12] PETERSON, James L., "Petri Nets", Computing Surveys, setembro 1977.
- [13] UFSC/DEE/LCMI, "Manual de Utilização - ARP2", 1989.

- [14] VALIM, P. R. O., "Um Simulador de Protocolos de Comunicação para a Linguagem Estelle", Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Programa de Engenharia Elétrica, abril 1990.
- [15] PEDROZA, A. C. P.; VALIM, P. R. O.; GOULART, C. C.; OLIVEIRA, R. C., "Um Sistema de Auxílio ao Projeto de Protocolos de Comunicação para Redes de Computadores", Anais do Seminário Franco-Brasileiro em Sistemas Informáticos Distribuídos, setembro 1989.
- [16] SILVA, Gutemberg S., "Geração Automática de Sequências de Teste para Protocolos de Comunicação", Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Programa de Engenharia Elétrica, abril 1992.

ANEXOS

A. MODELOS DOS SERVIÇOS E DO PROTOCOLO EM REDE DE PETRI

Este anexo apresenta um conjunto de modelos em rede de Petri para os serviços a serem descritos e o protocolo estudado. São eles:

- Modelo dos serviços CMISE (seção A.1)
- Modelo do protocolo CMIP (seção A.2)
 - M-ACTION (seção A.2.1)

A.1. MODELO DOS SERVIÇOS CMISE

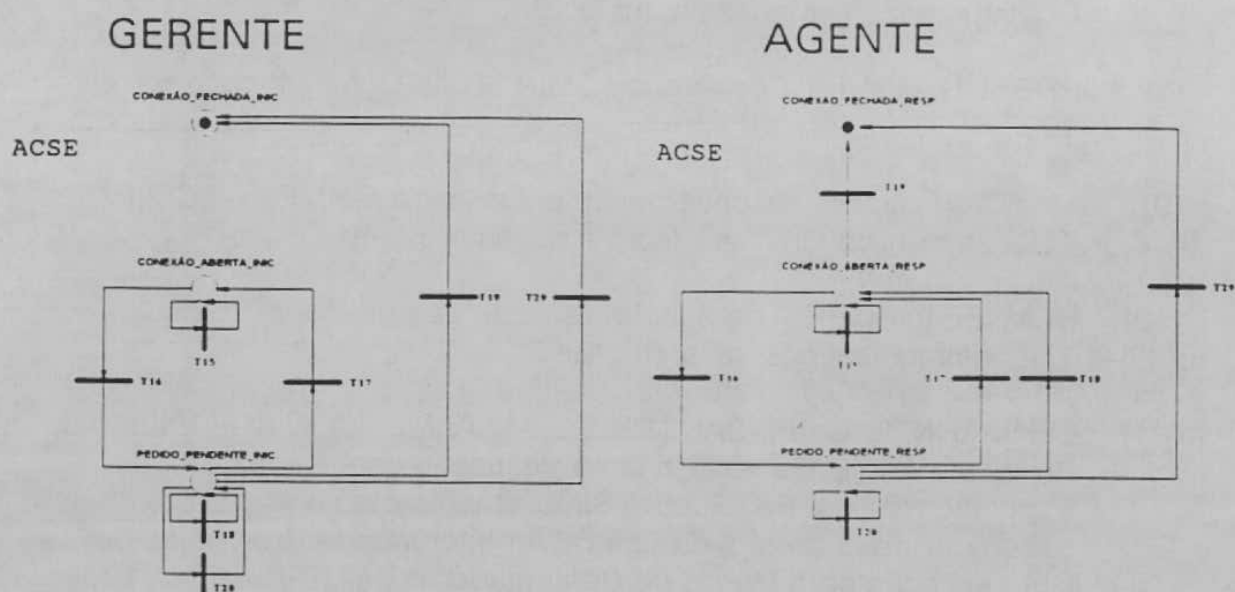


FIGURA A.1: Rede de Petri do modelo dos serviços CMISE

TRANSIÇÃO	DESCRIÇÃO
T15	Serviços não-confirmados
T16	Serviços confirmados
T17	Confirmação positiva ou negativa, ou rejeição pelo respondedor
	Confirmação positiva ou negativa, fim de sequência de respostas múltiplas
	Requisição de cancelamento do serviço GET aceito
T18	Confirmação positiva ou negativa rejeitadas pelo iniciador
	Confirmação positiva ou negativa de cancelamento do serviço GET rejeitadas pelo iniciador
T19	Liberação abrupta da associação causada por rejeição pelo iniciador
	Liberação abrupta da associação causada por resposta múltipla ou fim de sequência de respostas múltiplas rejeitadas pelo iniciador
	Liberação abrupta da associação causada por confirmação positiva ou negativa de cancelamento do serviço GET rejeitadas pelo iniciador
T20	Respostas múltiplas
	Resposta múltipla rejeitada pelo iniciador
	Requisição de cancelamento do serviço GET
	Requisição de cancelamento do serviço GET negado ou rejeitado pelo respondedor
T29	Liberação abrupta da associação pelo usuário CMISE

TABELA A.1: Descrição das transições do modelo dos serviços CMISE

TRANSIÇÃO	GERENTE	AGENTE
T15	? M-EVENT-REPORT.req	! M-EVENT-REPORT.ind
	? M-SET.req	! M-SET.ind
	? M-ACTION.req	! M-ACTION.ind
T16	? M-EVENT-REPORT-CONFIRMED.req	! M-EVENT-REPORT-CONFIRMED.ind
	? M-SET-CONFIRMED.req	! M-SET-CONFIRMED.ind
	? M-ACTION-CONFIRMED.req	! M-ACTION-CONFIRMED.ind
	? M-GET.req	! M-GET.ind
	? M-CREATE.req	! M-CREATE.ind
	? M-DELETE.req	! M-DELETE.ind
T17	! M-EVENT-REPORT-CONFIRMED.conf+/-	? M-EVENT-REPORT-CONFIRMED.resp+/-
	! M-SET-CONFIRMED.conf+/-	? M-SET-CONFIRMED.resp+/-
	! M-ACTION-CONFIRMED.conf+/-	? M-ACTION-CONFIRMED.resp+/-
	! M-GET.conf+/-	? M-GET.resp+/-
	! M-CREATE.conf+/-	? M-CREATE.resp+/-
	! M-DELETE.conf+/-	? M-DELETE.resp+/-
	! M-CANCEL-GET.conf+	? M-CANCEL-GET.resp+
T18		? M-EVENT-REPORT-CONFIRMED.resp+/-
		? M-SET-CONFIRMED.resp+/-
		? M-ACTION-CONFIRMED.resp+/-
		? M-GET.resp+/-
		? M-CREATE.resp+/-
		? M-DELETE.resp+/-
		? M-CANCEL-GET.resp+/-
T19	! ABRT	! ABRT
T20		? M-GET.resp
		? M-SET-CONFIRMED.resp
		? M-ACTION-CONFIRMED.resp
		? M-DELETE.resp
	? M-CANCEL-GET.req	! M-CANCEL-GET.ind
	! M-CANCEL-GET.conf-	? M-CANCEL-GET.resp-
T29	? ABRT	! ABRT
	! ABRT	? ABRT
	! A-P-ABORT	! A-P-ABORT

TABELA A.2: Primitivas representadas pelas transições do modelo dos serviços CMISE

A.2. MODELO DO PROTOCOLO CMIP

A.2.1. M-ACTION

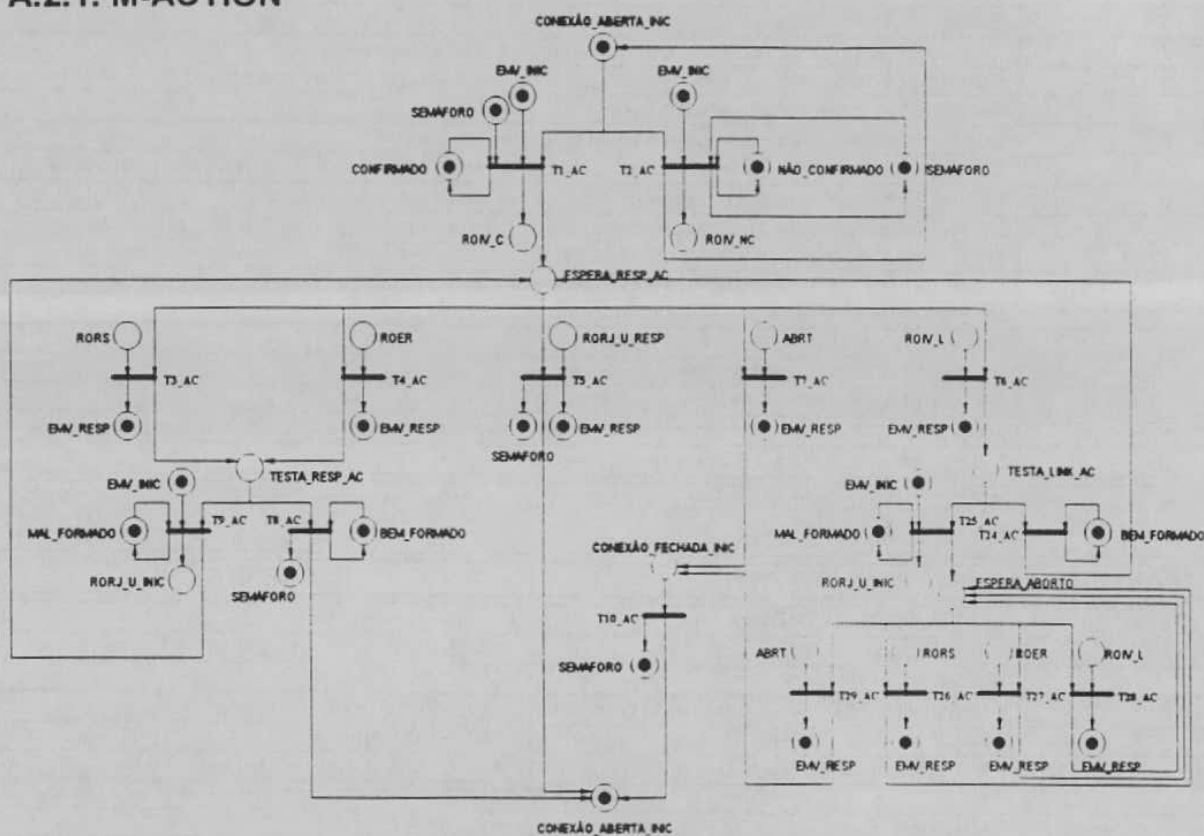


FIGURA A.2: Rede de Petri do protocolo CMIP, serviço M-ACTION, modelo do gerente

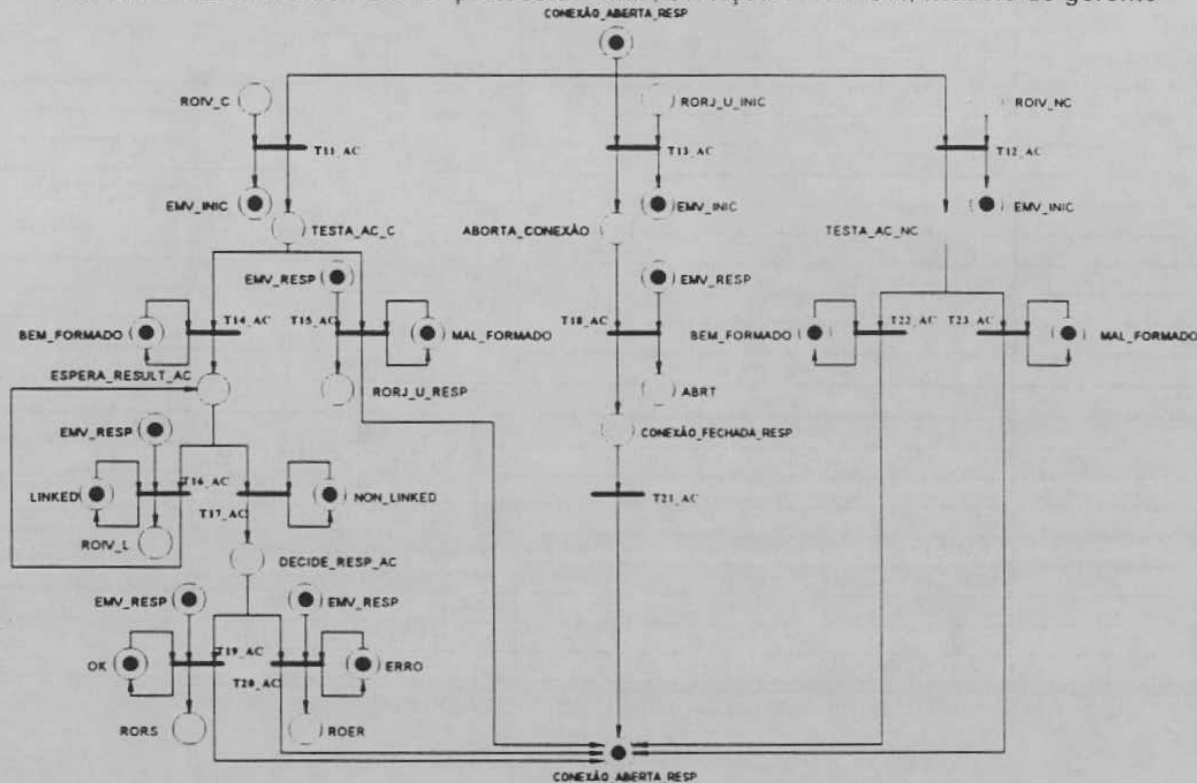


FIGURA A.3: Rede de Petri do protocolo CMIP, serviço M-ACTION, modelo do agente

B. ESPECIFICAÇÃO DO PROTOCOLO CMIP EM ESTELLE

Este anexo apresenta de forma bastante simplificada a especificação formal em Estelle construída para o protocolo CMIP para o serviço M-ACTION. A íntegra poderá ser encontrada na tese de mestrado que dará continuidade ao tema.

```

specification CMIP systemactivity;
  default individual queue; timescale seconds;
const
  m_Action = 6;   m_Action_Confirmed = 7; . . .
  . . .
type
  . . .
  data_type = RECORD
    INVOKE_IDENTIFIER : INTEGER;
    . . .
  END;
  . . .
channel CMIP_interface (user, provider);
  by user:
    M_ACTION_req_C   (SDU: data_type);
    M_ACTION_resp_POS (SDU: data_type);
    . . .
  by provider:
    M_ACTION_ind_C   (SDU: data_type);
    M_ACTION_conf_POS (SDU: data_type);
    . . .
channel MEDIUM_interface (user, provider);
  by user:
    ROIV_req (. . .);  RORS_req (. . .); . . .
  by provider:
    ROIV_ind (. . .);  RORS_ind (. . .); . . .
module CMIP_ENTITY_TYPE activity;
  ip UCEP: CMIP_interface (provider);
  MCEP: MEDIUM_interface (user);
end;
body CMIP_ENTITY_BODY for CMIP_ENTITY_TYPE;
  var
    . . .
  state
    CONEXAO_ABERTA, CONEXAO_FECHADA, ESPERA_RESP_AC, . . .
  PROCEDURE BuildCMIPDU (VAR pdu: CMIPDU_type; ProcSDU: data_type);
  begin
    . . .
  initialize (* de CMIP_ENTITY_BODY *)
  to CONEXAO_FECHADA
  begin
    InvokeID_aux := 0;
  end;
  trans
    . . .
    from CONEXAO_ABERTA to ESPERA_RESP_AC (* comportamento do iniciador *)
    when UCEP.M_ACTION_req_C (SDU)
    name T1_AC:
      . . .
    from CONEXAO_ABERTA (* comportamento do respondedor *)
    when MCEP.ROIV_ind (. . .)
    provided (Operation_aux = m_Action_Confirmed)
    to TESTA_AC_C
    name T11_AC:
      . . .
    provided otherwise
    to ABORTA_CONEXAO
    . . .

```

```
end; (* trans *)

module USER_TYPE activity;
  ip UCEP: CMIP_interface (user);
end;

body USER_BODY for USER_TYPE; external;

module MEDIUM_TYPE activity;
  ip MCEP: array [0..1] of MEDIUM_interface (provider);
end;

body MEDIUM_BODY for MEDIUM_TYPE;
  trans
    when MCEP [0].ROIV_req (. . .)
    begin
      output MCEP [1].ROIV_ind (. . .);
    end;
  . . .
end; (* trans *)

modvar
  A, B: CMIP_ENTITY_TYPE;
  DG: MEDIUM_TYPE;

initialize (* de CMIP *)
begin
  init DG with MEDIUM_BODY;
  init A with CMIP_ENTITY_BODY;
  init B with CMIP_ENTITY_BODY;
  connect A.MCEP to DG.MCEP [0];
  connect B.MCEP to DG.MCEP [1];
end;

end. (* do CMIP *)
```