

MAXWELL EDUARDO MONTEIRO

**UMA PROPOSTA DE SERVIÇOS SEMÂNTICOS
RELACIONADA AO AUTOGERENCIAMENTO
EM REDES DE TRANSPORTE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica e Automação do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Automação, na área de concentração Redes de Telecomunicações.

Orientador: Prof. Dr. Anilton Salles Garcia.

VITÓRIA

2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

M775p Monteiro, Maxwell Eduardo, 1973-
Uma proposta de serviços semânticos relacionada ao
autogerenciamento em redes ópticas de transporte / Maxwell
Eduardo Monteiro. – 2010.
234 f. : il.

Orientador: Anilton Salles Garcia.
Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Telecomunicações. 2. Sistemas de telecomunicação. 3.
Ontologias (Recuperação da informação). 4. Software -
Arquitetura. 5. Redes de computadores - Gerência. 6. Semântica -
Análise de redes. 7. Redes ópticas de transporte. I. Garcia,
Anilton Salles. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro
Tecnológico. III. Título.

CDU: 621.3

MAXWELL EDUARDO MONTEIRO

**UMA PROPOSTA DE SERVIÇOS SEMÂNTICOS
RELACIONADA AO AUTOGERENCIAMENTO
EM REDES DE TRANSPORTE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica e Automação do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Automação, na área de concentração Redes de Telecomunicações.

Vitória, 20 de agosto de 2010

COMISSÃO EXAMINADORA

Orientador Prof. Dr. Anilton Salles Garcia.
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Carlos Alberto Malcher Bastos.
Universidade Federal Fluminense

Dr. Jorge Moreira de Souza.
FITec

Prof. Dr. José Gonçalves Pereira Filho.
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Ricardo de Almeida Falbo
Universidade Federal do Espírito Santo

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus pelos dias de saúde e satisfação concedidos durante o desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço muitíssimo aos parceiros de trabalho Prof. Dr. Giancarlo Guizzardi, Eng. Pedro Paulo Barcelos, Bacharel Renato Cabelino e Prof(a). Dra. Rosane Bodart Soares pelas enormes contribuições que foram decisivas na elaboração deste trabalho.

Meu agradecimento a todo o grupo dos projetos de pesquisa UFES-PADTEC-OTN 2009 e 2010, cuja capacidade intelectual fez florescer um conhecimento coletivo sobre as redes de transporte, suas recomendações e aplicações. Em especial, gostaria de agradecer aos professores Dr. Marcelo E. Vieira Segatto e Antônio M. Frasson, cujo apoio foi decisivo para que a defesa desta tese pudesse ocorrer.

Agradeço também á PADTEC S.A. pela confiança que permitiu o desenvolvimento dos projetos de pesquisa nos quais esta tese foi delimitada.

Finalmente, gostaria de agradecer ao amigo e orientador Prof. Anilton Salles Garcia, que me acompanha desde minha graduação. Obrigado por não desistir deste trabalho, mesmo quando eu já havia perdido as esperanças.

DEDICATÓRIA

Esse trabalho é dedicado a minha esposa, filhos e toda a minha família que há muito tem suportado minhas restrições de tempo e convivido bravamente com minhas longas jornadas de trabalho. Obrigado pelo apoio, pela paciência e pelo crédito dados a esse meu sonho.

Dedico também essa dissertação à Universidade Federal do Espírito Santo e a todos os funcionários, professores e alunos que se orgulham dela e, através de seu trabalho, surpreendem positivamente aqueles que se esquecem que a Região Sudeste possui um Estado chamado Espírito Santo e nele uma Universidade Federal com pessoas competentes e dedicadas.

RESUMO

O presente trabalho identifica que dentro da disciplina da Gerência de Redes de Telecomunicações o paradigma do Autogerenciamento apresenta um grande potencial para diminuir o tempo de maturação entre a aquisição de uma tecnologia e a oferta de serviços sobre ela. Entretanto, uma análise da literatura clássica sobre a Gerência de Redes e sobre o estado da arte do Autogerenciamento revela que tanto as técnicas e mecanismos consolidados quanto as mais recentes contribuições não proporcionam a interoperabilidade e o reuso entre as entidades heterogêneas de gerência das Redes de Telecomunicações. Esses gaps impedem avanços na direção de um princípio básico do Autogerenciamento: o estabelecimento de um ecossistema de autogerenciamento.

Em resposta a essa lacuna, esta tese propõe uma arquitetura de software cujo objetivo é facilitar a criação de sistemas de Autogerenciamento, conferindo-lhes a oportunidade de estabelecer um ecossistema com as características interoperabilidade e reuso, através da integração semântica apoiada em uma ontologia sobre Redes de Transporte. Ao especificar preliminarmente o Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte, principal elemento da arquitetura, evidencia-se que um ponto chave para a contribuição pretendida é o uso de ontologias. Sua capacidade de compartilhamento dos conceitos de um domínio, de extensão e de inferência lógica a tornam uma poderosa ferramenta para a constituição do ecossistema de Gerência de Redes. Embora seja delimitado um escopo de desenvolvimento no qual o Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes é especializado para as Redes de Transporte, uma maior atenção é dispensada à Ontologia das Redes de Transporte ITU-T G.805. Nessa condição, não é apresentada uma Implementação de Referência para a arquitetura proposta, mas sim uma implementação experimental, através de um protótipo de software. Essa implementação experimental ratifica a viabilidade da proposta e o potencial da mudança de paradigma na criação de sistemas de Autogerenciamento.

Palavras-chave: Gerência de Redes. Autogerenciamento. Gerenciamento Autônomo. Arquitetura de Software. Ontologia Computacional. Serviços Semânticos.

ABSTRACT

This work identifies Self-management, within Telecommunication Network Management, as a technique with great potential to minimize the time spent between new technology acquisitions and offering service over that technology. However, an investigation about the classical Network Management literature and about the State-of-the-Art of Self-management shows that no one has an effective solution for interoperability and re-usability between heterogeneous entities of Telecommunication Network Management. This lack of solution avoids advances in Self-management Systems development, since it implies lack of basic self-management features, such as: self-regulation, self-organization and ecosystem behavior (collective view of managed environment).

To address this problem, this work proposes a software architecture which has the objective of simplify the construction of Self-management Systems and give them the ecosystem behavior (interoperability and re-usability). The proposed software architecture presents and specifies (abstractly) the functional element known as Semantic Services Provider of Transport Network Management (PSSGRT). In the core of PSSGRT is the ontology of Transport Networks, based on ITU-T G.805 recommendation, other major contribution of this work. Ontology is the key technique to provide semantic information interoperability and re-usability. The PSSGRT is not specified in terms of technologies and protocol, but in terms of its role, behavior and expected work. Some candidate technologies are lightly analyzed, but a Reference Implementation is out of scope. However, an experimental software implementation is proposed and a restricted software prototype is built on. Under certain scenarios, the prototype was able to accomplish the role of PSSGRT and has shown the potential new paradigm of Self-management systems construction.

Key-words: Network Management. Self-management. Autonomic Management. Software Architecture. Computational Ontology. Semantic Services.

FIGURAS

Figura 1: Arquitetura Física da MIB.....	40
Figura 2: Arquitetura Física de Gerência TMN.....	42
Figura 3: Camadas de Gerenciamento TMN.....	43
Figura 4: Arquitetura SNMP.....	47
Figura 5: Arquitetura Interna do SNMP v3.....	49
Figura 6: Visão Geral do MTNM.....	59
Figura 7: Diagrama de Caso de Uso TMF 608.....	60
Figura 8: Arquitetura Didática de um Sistema PBNM	65
Figura 9: Visão Geral do Esquema da Ontologia NDL – UML.....	80
Figura 10: Exemplo da Descrição do Conceito de Layer via OntoUML.....	96
Figura 11: Exemplo da Descrição da Função de Adaptação via OntoUML.....	96
Figura 12: ITU-T G.805 Representação Visual dos Componentes Topológicos e Entidades de Transporte.....	105
Figura 13: ITU-T G.805 - Representação Visual de Funções de Processamento e Pontos de Referência.....	106
Figura 14: ITU-T G.805 Representação Visual dos Conceitos: Partitioning e Layering	107
Figura 15: ITU-T G.805 - Representação Visual do Relacionamento entre Camadas	108
Figura 16: Representação Visual do Exemplo de Rede Descrita pela ITU-T G.805	109
Figura 17: Típico Ambiente de Autogerenciamento.....	116
Figura 18: Proposta de Arquitetura de Autogerenciamento com Suporte a Serviços Semânticos.....	122
Figura 19: Estrutura da Informação Semântica.....	124
Figura 20: Modelo Principal (Main Model).....	130

Figura 21: Relação Cliente-Servidor Entre Camadas.....	131
Figura 22: Modelo das Funções de Processamento.....	132
Figura 23: Modelo Visual da Ligação Entre as Funções de Processamento.....	132
Figura 24: Modelo dos Pontos de Referência.....	133
Figura 25: Modelo Visual da Relação Entre Pontos de Referência e Conexões.....	134
Figura 26: Modelo Visual do Connection Point.....	134
Figura 27: Modelo das Conexões	135
Figura 28: Modelo Visual da Relação Entre as Conexões de Camadas Diferentes	135
Figura 29: Rede Declarada.....	137
Figura 30: Rede Inferida.....	137
Figura 31: Inferência de Caminho.....	138
Figura 32: Estrutura Interna do PSSGRT.....	144
Figura 33: O Lightpath como uma Conexão de Rede OCh.....	168
Figura 34: A Inserção da Topologia Lógica no Problema de VTD/RWA.....	168
Figura 35: Visão das Camadas de Um Problema VTD/RWA.....	168
Figura 36: Visão do Serviço Óptico de Transporte.....	176
Figura 37: Formação do SLA da Camada OCh.....	179
Figura 38: Caminho de Suporte de uma Conexão OMS.....	180
Figura 39: Concatenação para Geração do OLA do OMS_NC.....	180
Figura 40: Extensão da Ontologia de Redes de Transporte para o Domínio de SLA	183
Figura 41: Arquitetura Física da Implementação da Camada Semântica da Gerência de Redes de Transporte.....	189
Figura 42: Arquitetura Física Final: agentes no papel de EG3S.....	196
Figura 43: Ativação dos Bundles Envolvidos na Implementação Experimental.....	200
Figura 44: Verificando o Agente de SLA.....	200
Figura 45: Configuração do Cenário Positivo - Rede 1.....	201

Figura 46: Mensagem de Localização do PSSGRT.....	202
Figura 47: Mensagem PSSGRT Encontrado	202
Figura 48: Mensagem de Consulta a Sub-redes disponíveis.....	202
Figura 49: Mensagem de Consulta às Camadas Tecnológicas da Rede.....	203
Figura 50: Mensagem Camada OCh Encontrada.....	203
Figura 51: Mensagem Resultante da Consulta por Outras Entidades de SLA na Mes- ma Camada.....	203
Figura 52: Mensagem de Envio do Pedido de Registro do Ecossistema.....	203
Figura 53: Mensagem que Mostra os TCPs Disponíveis na Camada OCh.....	204
Figura 54: Mensagem que Exibe as Conexões OCh Possíveis.....	204
Figura 55: Mensagem de Recuperação das Conexões de Rede da Camada OTS	204
Figura 56: Mensagem que Exibe os Componentes do Caminho (Path 1).....	205
Figura 57: Mensagem que Exibe a Disponibilidade dos Componentes do Caminho (Path1).....	205
Figura 58: Mensagem que Exibe a Disponibilidade Estimada Para as Conexões OCh	206
Figura 59: Nova Configuração do Cenário Positivo – Rede 2.....	207
Figura 60: Mensagem com os Elementos do Caminho 2 (Path 2) – Passo 9.....	207
Figura 61: Mensagem de Recuperação da Disponibilidade dos Elementos do Cami- nho 2 (Path 2) – Passo 10.....	208
Figura 62: Mensagem Exibindo a Disponibilidade Estimada para as Conexões OCh (Path 2) – Passo 11.....	208
Figura 63: Mensagem que Evidencia Presença de Outra Entidade de SLA na Cama- da OCh.....	208
Figura 64: Mensagem do AgenteSDH que Consulta a Camada LOP (SDH).....	209
Figura 65: Mensagem do AgenteSDH que Evidencia a Ausência da Camada Consul- tada.....	209

QUADROS

Quadro 1: Função de Convolução de Conjunção – Produtório (FCC-P).....	180
Quadro 2: Função de Convolução de Conjunção – Somatório (FCC-S).....	181
Quadro 3: Função de Convolução de Disjunção – Mínimo (FCD-Min).....	181
Quadro 4: Função de Convolução de Disjunção – Máximo (FCD-Max).....	182

SIGLAS E ACRÔNIMOS

ACL	<i>Agent Communication Language</i>
AF	<i>Adaptation Function (G.805)</i>
ANMS	<i>Autonomic Network Management System</i>
AP	<i>Access Point (G.805)</i>
API	<i>Application Program Interface</i>
ASF	<i>Alert Standard Format (DMTF)</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
BSS	<i>Business Support System</i>
CIM	<i>Common Information Model (DMTF)</i>
CMIP	<i>Common Management Information Protocol</i>
CMISE	<i>Common Management Information Service Element</i>
CMOT	<i>CMISE over TCP/IP</i>
COM	<i>Microsoft Component Object Model</i>
COPS	<i>The Common Open Policy Service Protocol</i>
CORBA	<i>Common Object Request Broker Architecture</i>
CP	<i>Connection Point (G.805)</i>
DEM	<i>Directory Enabled Network (DMTF)</i>
DES	<i>Discret Event Simulators</i>
DMTF	<i>Distributed Management Task Force</i>
DWDM	<i>Dense Wavelength Division Multiplex</i>
ESB	<i>Enterprise Service Bus</i>
eTOM	<i>enhanced TOM (TMForum)</i>
FCAPS	<i>Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security</i>
FIPA	<i>Foundation for Intelligent Physical Agents</i>
HAD	<i>Qualidades de uma entidade: heterogênea, autônoma e distribuída</i>
HTML	<i>Hipertext Markup Language</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IAB	<i>Internet Architecture Board</i>
IAD	<i>Inteligência Artificial Distribuída</i>
IDL	<i>Interface Description Language</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IIOP	<i>Internet Inter-ORB Protocol</i>
ITIL	<i>Information Technology Infrastructure Library</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
ITU-T	<i>International Telecommunication Union – Telecommunication Sector</i>
JADE	<i>Java Agent DEvelopment Framework</i>
JEE	<i>Java Enterprise Edition</i>
JENA	<i>Framework de manipulação de ontologias implementadas</i>

JRMP	<i>Java Remote Method Protocol</i>
LANs	<i>Local Area Networks</i>
LDAP	<i>Light-weight Directory Access Protocol</i>
LGPL2	<i>Lesser General Public License Version 2</i>
MAS	<i>Multi Agent System (Sistemas Multiagente)</i>
MBD	<i>Management By Delegation</i>
MIB	<i>Management Information Base</i>
NDL	<i>A Network Description Language</i>
NGN	<i>Redes de Nova Geração</i>
NGOSS	<i>Next Generation OSS</i>
NKBS	<i>Network-knowledge-base System</i>
NML	<i>Network Management Language</i>
OA	<i>Ontology Agent (FIPA)</i>
OAM&P	<i>plataformas Operation, Administration, Maintenance and Provisioning</i>
OCh	<i>Camada do Canal Óptico (G.872)</i>
OLA	<i>Operational Level Agreement</i>
OMS	<i>Camada da Seção de Multiplexação Óptica (G.872)</i>
OntoUML	<i>Linguagem visual, estilo UML para as primitivas da UFO.</i>
ONU	<i>Organização das Nações Unidas</i>
OSGi	<i>The Dynamic Module System for Java (antigo Open Services Gateway Initiative)</i>
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
OSM	<i>Ontology for Support and Management</i>
OSS	<i>Operating Support System</i>
OSS/J	<i>OSS Through JAVA</i>
OTN	<i>Optical Transport Network</i>
OTS	<i>Camada da Transmissão Óptica (G.872)</i>
OWL	<i>Ontology Web Language</i>
OWL-S	<i>Semantic Markup for Web Services. Descrição semântica de Serviços</i>
PBNM	<i>Policy-based Network Management</i>
PDP	<i>Policy Decision Point</i>
PDU	<i>Protocol Data Unit</i>
Pellet	<i>Motor de inferência lógica</i>
PEP	<i>Policy Enforcement Point</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RDF	<i>Resource Description Language</i>
RDFS	<i>Resource Description Language Schema</i>
RFC	<i>Request for Comments</i>
RMON	<i>Remote Monitoring</i>
RPC	<i>Remote Procedure Call</i>
SAWSDL	<i>Semantic Annotation for WSDL</i>
SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i>

SGMP	<i>Simple Gateway Management Protocol</i>
SID	<i>Shared Information Data (TMForum)</i>
SLA	<i>Service Level Agreement</i>
SMASH	<i>System Management Architecture for Server Hardware (DMTF)</i>
SMBIOS	<i>System Management Basic Input Output System (DMTF)</i>
SMI	<i>Structured Management Information</i>
SML	<i>Service Modeling Language</i>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
SOA	<i>Service Oriented Architecture</i>
SOAP	<i>Simple Object Access Protocol</i>
SOI	<i>Service Oriented Infrastructure</i>
SONET	<i>Synchronous Optical Network</i>
SPARQL	<i>Linguagem de consulta sobre ontologias</i>
SQL	<i>Standard Query Language</i>
SWRL	<i>Semantic Web Rule Language</i>
TCP	<i>Termination Connection Point</i>
TCP/IP	<i>Transport Control Protocol/Internet Protocol</i>
TERP	<i>Linguagem alternativa ao SPARQL, proprietária ao Pellet</i>
TMForum	<i>Telecommunication Management Forum</i>
TMN	<i>Telecommunication Management Network</i>
TOM	<i>Telecommunications Operation Map</i>
TTF	<i>Trail Termination Function</i>
UDDI	<i>Universal Description, Discovery and Integration</i>
UDP	<i>User Data Protocol</i>
UFO	<i>Unified Foundational Ontology</i>
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
URI	<i>Uniform Resource Identifier</i>
VACM	<i>View Access Control Mode</i>
W3C	<i>World Wide Web Consortium</i>
WBEM	<i>Web-Based Enterprise Management</i>
WDM	<i>Multiplexação por Divisão do Comprimento de onda</i>
WS	<i>Web Services</i>
WS-CDL	<i>Web Services Choreography Description Language</i>
WSDL	<i>Web Services Description Language</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	22
1.1 A ÁREA DE INTERESSE DESTA TESE.....	22
1.2 A DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA E O ESCOPO DO TRABALHO.....	24
1.3 HIPÓTESE E ABORDAGEM.....	27
1.4 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	27
1.5 MOTIVAÇÃO.....	28
1.6 PRINCIPAIS RESULTADOS.....	29
1.7 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO.....	29
2 FUNDAMENTOS DA GERÊNCIA DE REDES.....	31
2.1 APRESENTAÇÃO DO CAPÍTULO.....	31
2.2 INTRODUÇÃO.....	31
2.2.1 Definição e Aspectos do Service Level Agreement (SLA).....	32
2.2.2 Definição e Aspectos do Quality of Service (QoS).....	33
2.3 A GERÊNCIA DE REDES E SEUS PRINCIPAIS ASPECTOS.....	34
2.3.1 Definição da Gerência de Rede.....	34
2.3.2 Os Primórdios da Gerência de Rede.....	35
2.3.3 Gerência de Redes OSI – O Marco Formal.....	36
2.3.4 Recomendações da Série X.700 e as Áreas Funcionais da Gerência de Redes.....	37
2.3.5 Arquitetura Clássica da Gerência de Redes X.700.....	39
2.4 GERÊNCIA DE REDES DE TELECOMUNICAÇÕES - TMN.....	41
2.4.1 Conceitos Básicos do TMN.....	41
2.4.2 Visão Geral das Demais Recomendações TMN.....	44
2.5 A INICIATIVA DA GERÊNCIA INTERNET – SNMP.....	45
2.5.1 Aspectos Históricos.....	46
2.5.2 SNMP.....	47
2.5.3 OUTRAS VERSÕES DO SNMP.....	48
2.5.4 RMON.....	51
2.6 OUTRAS INICIATIVAS RELEVANTES PARA A GERÊNCIA DE REDES.....	53

2.6.1 Os Sistemas de Informação na Gerência de Redes.....	53
2.6.2 Arquitetura de Gerenciamento: Centralizada X Distribuída.....	55
2.6.3 A Iniciativa Web-Based Enterprise Management (WBEM) – Ditributed Management Task Force.....	56
2.6.4 Iniciativa TMForum – Telecommunication Operation Maps.....	58
2.6.5 Iniciativa TMForum - Multi-Technology Network Management.....	58
2.6.6 TMForum Shared Information/Data (SID).....	61
2.7 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	61
3 O AUTOGERENCIAMENTO DE REDES.....	63
3.1 APRESENTAÇÃO DO CAPÍTULO.....	63
3.2 A BUSCA PELA AUTONOMIA DOS SISTEMAS DE GERÊNCIA DE REDES.....	63
3.2.1 Gerência Por Delegação.....	63
3.2.2. Gerência de Redes Baseada em Políticas (Policy-based Network Management – PBNM).....	64
3.2.3 Os Sistemas Baseados em Conhecimento na Gerência de Redes.....	66
3.2.4 Os Sistemas Multiagente e Inteligência Artificial Distribuída na Gerência de Redes.....	67
3.2.5 Active Networks.....	72
3.3 AS TÉCNICAS DE GESTÃO DA INFORMAÇÃO E DO CONHECIMENTO NA GERÊNCIA DE REDES.....	74
3.3.1 Técnicas de Exploração de Informações.....	74
3.3.2 Ontologias na Gerência de Redes.....	75
3.4 AUTOGERENCIAMENTO (SELF-MANAGEMENT / AUTONOMIC MANAGEMENT) 81	
3.4.1 Definição de Autogerenciamento.....	81
3.4.2 Principais Trabalhos no Campo do Autogerenciamento.....	82
3.4.3 Ontologias e o Autogerenciamento.....	83
3.4.4 Algumas Considerações Sobre O Autogerenciamento.....	84
3.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	86
4 ONTOLOGIA E SEU SUPORTE AOS SERVIÇOS SEMÂNTICO DA GERÊNCIA DE REDES.....	88
4.1 APRESENTAÇÃO DO CAPÍTULO.....	88
4.2 VISÃO GERAL SOBRE ONTOLOGIA.....	88
4.2.1 Uma Definição Estendida.....	88
4.2.2 Modelagem Conceitual Vs. Implementação Computacional.....	90

4.3 ASPECTOS RELEVANTES PARA A CONSTRUÇÃO DE ONTOLOGIAS.....	91
4.3.1 O Processo de Construção.....	91
4.3.2 A Modelagem Conceitual Através da OntoUML.....	93
4.3.3 A Modelagem de Implementação.....	97
4.4 ONTOLOGIA COMO SUPORTE A COMPUTAÇÃO ORIENTADA A SERVIÇOS SEMÂNTICOS.....	101
4.4.1 Princípios Básicos da Computação Orientada a Serviço.....	101
4.4.2 Breve Definição de Serviços Semânticos.....	102
4.5 A RECOMENDAÇÃO ITU-T G.805 COMO BASE PARA UMA ONTOLOGIA.....	103
4.5.1 Fundamentos da Recomendação ITU-T G.805.....	103
4.5.2 Análise Crítica da ITU-T G.805 Como Base de Uma Ontologia.....	110
4.5.3 Avaliação dos Potenciais Serviços Semânticos Baseados na OTU-T G.805....	111
4.6 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	112
5 UMA PROPOSTA DE SERVIÇOS SEMÂNTICOS RELACIONADA AO AUTOGERENCIAMENTO EM REDES DE TRANSPORTE.....	114
5.1 APRESENTAÇÃO DO CAPÍTULO.....	114
5.2 OS PRESSUPOSTOS DA PROPOSTA.....	114
5.2.1 O Atual Cenário da Gerência Clássica.....	114
5.2.2 O Estado da Arte e o Autogerenciamento.....	115
5.2.3 Os Gaps Existentes.....	117
5.2.4 A Lacuna a Ser Preenchida.....	119
5.2.5 A Contribuição Pretendida.....	120
5.3 PROPOSTA – UMA ARQUITETURA DE SERVIÇOS SEMÂNTICOS PARA ECOSISTEMAS DE AUTOGERENCIAMENTO DE REDES.....	121
5.3.1 A Visão de Alto Nível da Arquitetura Proposta.....	121
5.3.2 Organização Geral da Ontologia de Suporte.....	123
5.3.3 As Vantagens e Desvantagens da Abordagem Proposta.....	126
5.3.4 A Especialização da Arquitetura para Gerência de Redes de Transporte e o Escopo de Desenvolvimento da Proposta.....	127
5.4 A ONTOLOGIA COMPUTACIONAL DAS REDES DE TRANSPORTE - ITU-T G.805.....	128
5.4.1 Visão Geral do Modelo Conceitual.....	129
5.4.2 A Implementação da Ontologia e as Inferências Lógicas Obtidas.....	136
5.4.3 Considerações Finais sobre a Ontologia ITU-T G.805.....	140

5.5 ESPECIFICAÇÕES E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO PROVEDOR DE SERVIÇOS SEMÂNTICOS DA GERÊNCIA DE REDES DE TRANSPORTE.....	141
5.5.1 O Papel Desempenhado.....	141
5.5.2 Modelo Semântico Oferecido.....	142
5.5.3 O PSSGRT Como Facilitador da Criação de Ecossistemas de Autogerenciamento.....	143
5.5.4 A Organização Funcional Interna do Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte.....	144
5.6 ESPECIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS OFERECIDOS PELO PSSGRT.....	147
5.6.1 A Natureza dos Serviços Oferecidos.....	148
5.6.2 Serviços de Contextualização.....	148
5.6.3 Serviços Semânticos Básicos.....	150
5.6.4 Serviços de Informações Topológicas e Estruturais.....	152
5.6.5 Serviços de Informação sobre o Ecossistema.....	156
5.6.6 Algumas Considerações Sobre Os Serviços Oferecidos pelo PSSGRT.....	158
5.6.7 Outras Possibilidades de Serviço.....	159
5.7 A VIABILIDADE TÉCNICA DA PROPOSTA.....	160
5.8 TECNOLOGIAS CANDIDATAS À IMPLEMENTAÇÃO DE REFERÊNCIA.....	162
5.8.1 Middleware de Suporte à Entidade de Controle das Informações Semânticas.....	162
5.8.2 Interfaces de Acesso aos Serviços Semânticos.....	164
5.8.3 A Implementação de Inferência Lógica.....	165
5.8.4 A Persistência das Informações.....	166
5.9 POTENCIAIS APLICAÇÕES DA ARQUITETURA PROPOSTA - ALGUNS EXEMPLOS.....	167
5.9.1 Planejamento de Redes.....	167
5.9.2 Simulação de Redes.....	169
5.9.3 Suporte aos Sistemas multiagentes na Gerência de Redes – O Exemplo do JADE.....	171
5.10 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	172
6 IMPLEMENTAÇÃO EXPERIMENTAL.....	174
6.1 INTRODUÇÃO.....	174
6.2 FUNDAMENTOS DO DOMÍNIO DE GESTÃO DE SLA EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE.....	174
6.2.1 Descrição Resumida de Uma Rede Óptica de Transporte.....	175
6.2.2 Serviço Prestado(Service).....	175
6.2.3 A Conexão de Rede OTN Como um Serviço.....	175

6.2.4 Service Level Agreement (SLA).....	177
6.2.5 Parâmetro de SLA.....	177
6.2.6 Operational Level Agreement (OLA)	178
6.2.7 Concatenação de Parâmetros para a Formação de SLA/OLA de Camadas Superiores.....	180
6.2.8 Função de Convolução de Conjunção – Produtório (FCC-P).....	181
6.2.9 Função de Convolução de Conjunção – Somatório (FCC-S).....	181
6.2.10 Função de Convolução de Disjunção – Mínimo (FCD-Min).....	182
6.2.11 Função de Convolução de Disjunção – Máximo (FCD-Max).....	182
6.3 A ONTOLOGIA DE EXTENSÃO – SLA DE REDES DE TRANSPORTE.....	183
6.4 A IMPLEMENTAÇÃO DA APLICAÇÃO DE GESTÃO DE SLA DE REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE.....	185
6.4.1 Escopo, Requisitos e Restrições.....	185
6.4.2 As Escolhas de Implementação da implementação experimental.....	187
6.4.3 A Definição das Interfaces e Serviços.....	190
6.4.4 O Micro Protocolo de Aplicação Derivado das Interfaces.....	191
6.4.5 A Implementação da Entidade de Controle do Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte.....	192
6.4.6 A Implementação de Uma Entidade de Gerência EG3S de SLA - Agente de Gestão de SLA.....	196
6.5 OS CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO E OS RESULTADOS OBTIDOS.....	199
6.5.1 Cenário Positivo 1 – Gestão de SLA na Rede 1.....	201
6.5.2 Cenário Positivo 2 – Gestão de SLA na Rede 2.....	206
6.5.3 Cenário Negativo 1 – Outra Entidade em Operação.....	208
6.5.4 Cenário Negativo 2 – Camada Tecnológica Inexistente.....	208
6.5.5 Algumas Limitações da Avaliação.....	209
6.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	210
7 CONCLUSÃO.....	211
7.1 O RESUMO DA PROPOSTA.....	211
7.2 A CONSTRUÇÃO DA ONTOLOGIA COMPUTACIONAL DE SUPORTE.....	211
7.3 A IMPLEMENTAÇÃO EXPERIMENTAL.....	212
7.4 TRABALHOS FUTUROS.....	214
7.4.1 Implementação de Referência e Padronização.....	214
7.4.2 Ontologias na Gerência de Redes.....	215

7.4.3 Aplicações que Utilizem a Arquitetura Proposta.....	215
7.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	216
8 REFERÊNCIAS.....	217

1 INTRODUÇÃO

As Redes de Telecomunicações vêm, ao longo dos anos, assumindo o importante papel de prover a infraestrutura sobre a qual as informações, em suas mais diversas mídias, são disponibilizadas para indivíduos e organizações. Da tradicional telefonia fixa aos fenômenos da Internet e da Comunicação Móvel, as Telecomunicações contribuíram para a formação de uma cultura contemporânea e global onde as fronteiras geográficas se tornam virtuais e o valor das organizações pode ser medido por sua capacidade de lidar com a informação abundantemente disponível.

Do ponto de vista das empresas que prestam Serviços de Telecomunicações, uma rede é um objeto de negócio. Sobre essa rede são estabelecidos serviços fornecidos a milhões de usuários (clientes) em todo o mundo. A qualidade e o estado de funcionamento desses serviços são de extrema relevância tanto para os usuários quanto para a desenvoltura dos negócios das próprias prestadoras de serviço. A competitividade do mercado e a constante evolução tecnológica geram desafios e oportunidades. A cada momento uma nova tecnologia cria perspectivas diferentes, possibilitando a oferta de serviços inovadores, de baixo custo ou sob medida. Redes sem Fio, Computação de Alto Desempenho, Computação Ubíqua e as Redes de Nova Geração (NGN) são exemplos de tecnologias que vão saindo rapidamente da condição de promessas para se tornarem realidade. Por outro lado, a exigência dos assinantes também evolui, demandando maior qualidade de serviço, mais facilidades de uso e menor custo. Todos esses componentes mostram o dinamismo econômico e técnico a que está submetida uma Rede de Telecomunicações.

1.1 A ÁREA DE INTERESSE DESTA TESE

Nos bastidores do cenário descrito anteriormente está a Gerência de Redes, disciplina responsável pelo estabelecimento de métodos e práticas capazes de suportar a operação de uma rede (STALLINGS, 1999). Amplamente formalizada através de recomendações da *International Telecommunication Union – Telecommunication Sector* (ITU-T), a Gerência de Redes foi dividida em áreas funcionais, organizando as tarefas do Gerente da Rede (o responsável pela

disciplina) (STALLINGS, 1999). Segundo a recomendação M.3400 (ITU-T M.3400), observa-se que dentre essas áreas funcionais encontram-se a Gerência:

- de Configurações;
- de Desempenho;
- de Contabilização;
- de Segurança; e
- de Falhas

No intuito de reduzir os custos e a complexidade de operação de uma rede de telecomunicações, a Gerência de Redes tem sido alvo de aplicação de diversas estratégias e paradigmas. Nesse sentido, destacam-se as contribuições dadas pela Inteligência Artificial, que ao longo dos anos tem apresentado possibilidades cada vez mais interessantes e reais. Dentre tais técnicas utilizadas, vale destacar o uso de Agentes Móveis e Inteligentes, além de Ontologias, que são alvo de maiores esclarecimentos em capítulos posteriores.

Percebe-se essa evolução da Gerência de Redes quando novas vertentes de pesquisa são postuladas, tais como: Gerência por Delegação (GOLDSZMIDT, 1991), Agentes Móveis (NWANA, 1996), *Policy-based Network Management* (STRASSNER, 2006) e, ultimamente, Autogerenciamento (*Self-management*) (TIANFIELD, 2003 e SAMAAN, 2009). Essa última, derivada das teorias de controle adaptativo (engenharia de automação) e dos sistemas autônomos de computação (LIU; TSUI; WU, 2001), tem sido vista como uma nova fronteira a ser explorada. Sua principal ideia é que as ferramentas de Gerência de Redes, que antes apenas apoiavam o Gerente da Rede em determinadas ações, invertam seu papel e passem a assumir o controle das ações, dependendo minimamente do ser humano.

Embora os sistemas autônomos descritos pela Ficção Científica já permeiem nossa imaginação há muito tempo, ainda não se tem a real dimensão de seu impacto quando aplicados em disciplinas reais como a Gerência de Redes. Estima-se uma enorme redução dos esforços e custos da operação de uma rede, levando, virtualmente, a um novo patamar de prestação de serviços. Esta tese tem como área de interesse o paradigma do Autogerenciamento (*Self-management*) e seu atual estágio de desenvolvimento.

1.2 A DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA E O ESCOPO DO TRABALHO

Existem inúmeras lacunas a serem preenchidas até que se possa provar a viabilidade do Autogerenciamento e o real grau de autonomia que esse pode oferecer. Os problemas a resolver vão de questões técnicas, associadas a maturidade das tecnologias atuais, a questões éticas e culturais, ligadas à entrega de uma operação importante (a gerência de uma rede) a um sistema computacional.

Depois da análise de um apanhado de recentes contribuições para o Autogerenciamento, pode-se notar que grande parte das técnicas empregadas não difere em muito das já propostas pela Inteligência Artificial tradicional. Um dos principais problemas é que as propostas apresentadas não constituem uma contribuição na direção de se criar um **ecossistema de autogerenciamento** (definido nesta tese como o ambiente operacional onde diferentes organismos de gerência de redes poderiam conviver, compartilhando o ambiente, interagindo entre si e atuando de forma harmônica em busca de seus objetivos individuais). Conclui-se que cada uma das contribuições em direção ao autogerenciamento possui seus próprios métodos, processos e modelos de informação, com pouca ou nenhuma preocupação com o **interoperabilidade** (operação conjunta entre ferramentas e aplicações, mesmo que construídas por pessoas, grupos ou organizações diferentes) e o **reúso** (aproveitamento, por outrem, de informações, serviços e processos desenvolvidos para entidades habitantes do ecossistema).

O fato dos recentes trabalhos sobre o tema não abordarem frontalmente a criação desse **ecossistema** (termo que será utilizado daqui por diante para referenciar **ecossistema de autogerenciamento**) traz uma séria restrição aos atributos do Autogerenciamento, por exemplo o da autorregulação (onde as entidades de gerência devem perceber o ambiente e se ajustarem para contribuírem com a boa operação do todo) (TIANFIELD, 2003). Em outras palavras, a essência do autogerenciamento demanda o compartilhamento de uma visão comum (conceitos) sobre o ambiente (a rede), a gerência de redes e as entidades que compartilham (competem e colaboram entre si) esse meio, permitindo que entidades, heterogêneas, autônomas e distribuídas (abreviado pela sigla **HAD**, numa adaptação de Izza, Vicente e Burlat (2005)) interoperem (**integração**).

A integração de sistemas, com vistas à interoperabilidade, tem sido alvo de um grande número de trabalhos (IZZA; VICENTE; BURLAT, 2005), (ZHOU, 2010), (FERNANDES et al., 2010). Izza, Vicente e Burlat (2005) consideram que a integração de sistemas de informação com características de **HAD** deve ser tomada como a integração de três camadas: dados, serviços e processos. A camada de dados serve como alicerce para os serviços, que por sua vez são os elementos básicos dos processos. Zhou e outros (2010) apresentam uma hierarquia da informação, descrita por uma pirâmide, que tem o conhecimento como topo, apoiado na informação, na semântica, no esquema e nos dados (esse último como base da pirâmide). Assim como Fernandes e outros (2010) e Izza Vicente e Burlat (2005), Zhou e outros (2010) afirmam que a integração dos dados têm sido feita através de técnicas de mapeamento entre diferentes formatos e esquemas (modelos de dados). Essa integração, chamada de sintática, diminui o reúso (uma vez que os mapeamentos devem ser codificados em cada instância de ferramenta a ser integrada) e pode provocar significativos problemas semânticos (uma vez que pode haver diferença de significado entre o modelo fonte e o modelo destino do mapeamento). Essa é a grande crítica feita às iniciativas de gerenciamento de redes que tentam padronizar grandes modelos de dados como referência para a integração e interoperabilidade de sistemas (TMFORUM). **INFORMATION FRAMEWORK (SID)**, 2010) e (DMTF. **Common Information Model (CIM) Standards**, 2010). Fernandes e outros (2010), Izza Vicente e Burlat (2005) e Zhou e outros (2010) afirmam que a integração semântica (onde o significado dos dados, descrito por um **modelo conceitual**, é formalmente explicitado) é uma técnica com grande potencial para promover a integração de sistemas, aproveitando-se melhor do reúso e promovendo o baixo acoplamento entre os sistemas integrados. Assim, os autores supracitados concluem que a **interoperabilidade semântica** é um passo fundamental para assegurar a interoperabilidade dos sistemas **HAD**. Os **modelos conceituais** (GUIZZARDI, 2005) são descrições formais dos conceitos de um domínio de discurso. Eles servem para estabelecer um entendimento comum sobre os termos de um domínio, permitindo que entidades heterogêneas possuam um acordo semântico sobre os termos utilizados em diálogos, serviços e processos.

Como resultado da análise anterior, identifica-se que a integração semântica é um passo fundamental para a interoperabilidade e potencial criação de um ecossistema

de autogerenciamento. Então, o problema para o qual se pretende propor uma solução pode ser traduzido pela pergunta: **como facilitar a criação de sistemas de Autogerenciamento capazes de formar um ecossistema?**

Na tentativa de responder à questão anterior, o presente trabalho simplifica o amplo universo de discurso da Gerência de Redes, passando a discutir apenas a Gerência de Redes de Transporte. As Redes de Transporte são uma categoria de Redes de Telecomunicações cujo principal objetivo é fornecer serviços básicos de transferência de informação para a composição de outros serviços de Telecomunicações. Assim, os resultados obtidos para a Gerência de Redes de Transporte servem como base para uma futura ampliação do universo de solução para as Redes de Telecomunicações. As indagações, suposições, raciocínios e contribuições são feitos com relação a uma Rede de Transporte abstrata e independente de tecnologia. Entretanto, para exemplificar os conceitos propostos, é utilizada a Rede Óptica de Transporte (OTN) (ITU-T G.872), por se tratar de uma rede cuja arquitetura é razoavelmente simples de se compreender e comparar.

Esta tese entende que **facilitar a criação de sistemas de Autogerenciamento capazes de formar um ecossistema** significa promover meios para que as entidades de gerência se integrem semanticamente, melhorando a interoperabilidade e o reúso.

Quanto às camadas de integração, descritas por Izza Vicente e Burlat (2005), a presente tese trata apenas das camadas de dados e de serviços. Os serviços oferecidos na proposta feita por esta tese são especificados quanto a seu comportamento e relacionamento com a integração semântica dos dados.

O presente trabalho não pretende contribuir com a criação de novas teorias da Inteligência Artificial ou da Computação. Também não pretende estender seus exemplos e discussões para outras tecnologias de rede (mais específicas) ou para áreas correlatas, atendo-se ao necessário os conceitos presentes em uma rede de transportes (semântica dos dados)..

1.3 HIPÓTESE E ABORDAGEM

Considerando a filosofia do Autogerenciamento e as questões de interoperabilidade e reúso associadas aos sistemas de informação (IZZA; VICENTE; BURLAT, 2005), observa-se que a disciplina chamada de Ontologia (Ciência da Computação) (GUIZZARDI 2005), que será abordada nos capítulos subsequentes, possui as características necessárias e suficientes para descrever **modelos conceituais**. Vislumbra-se que essa técnica pode apoiar na obtenção da interoperabilidade e do reúso, para a criação de uma arquitetura facilitadora da constituição do ecossistema de Autogerenciamento de redes.

O compartilhamento de modelos semânticos sobre o ambiente gerenciado, através de ontologias, se apresenta como uma alternativa bastante promissora, uma vez que proporciona elementos necessários para interoperabilidade semântica de entidades heterogêneas (IZZA; VICENTE; BURLAT, 2005), (ZHOU, 2010),(FERNANDES et al., 2010).

A abordagem utilizada neste trabalho é a aplicação de Ontologias como motor da interoperabilidade semântica, reúso e consequente aumento da autonomia, facilitando o estabelecimento de um ecossistema de Autogerenciamento.

1.4 OBJETIVOS DO TRABALHO

Esta tese pretende oferecer uma contribuição para o campo do Autogerenciamento, dentro da Disciplina de Gerência de Redes. O objetivo geral deste trabalho é propor uma solução para facilitar o desenvolvimento de sistemas de Autogerenciamento de uma Rede de Transporte, onde esses sistemas utilizem o conceito de ecossistema de Autogerenciamento. A solução oferecida deve promover a aproximação entre sistema gerado e os princípios defendidos por Herrmann, Mühl e Geihs (2005), cuja essência é traduzida aqui por interoperabilidade e reúso, conforme definição anterior.

Como objetivos específicos e contribuições deste trabalho, apresentam-se os que seguem:

- **Contribuição 1:** proposição de uma arquitetura de suporte ao Autogerenciamento, cujo principal objetivo é fornecer serviços semânticos para contemplar a interoperabilidade semântica e a reusabilidade de modelos conceituais. A arquitetura é especializada para a Gerência de Redes de Transporte, conforme visão da ITU-T G.805, contemplando o entendimento comum sobre o ambiente gerenciado – Redes de Transporte;
- **Contribuição 2:** criação de uma Ontologia Computacional baseada na recomendação ITU-T G.805, como solução para a interoperabilidade e reusabilidade das informações semânticas sobre uma rede de transporte, dando suporte direto aos serviços oferecidos pela arquitetura proposta;
- **Contribuição 3:** especificação preliminar e independente de tecnologia do Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte, elemento funcional mais relevante da arquitetura proposta.

1.5 MOTIVAÇÃO

O ciclo de renovações tecnológicas tem se tornado cada vez menor, exigindo a frequente aquisição e implantação de novos serviços em Redes de Telecomunicações. Por outro lado, a instabilidade operacional gerada pelas constantes alterações torna difícil a tarefa de operar e gerenciar uma rede. Sendo o ator fundamental do atual processo de operação e gerenciamento de uma rede, o ser humano impõe uma curva de aprendizado sobre o novo comportamento da Rede. Observando-se as questões econômicas e operacionais, seria importante que existissem iniciativas que: encurtem o tempo de assimilação de uma tecnologia, que suportem a decisão rápida sobre ações corretivas e preventivas e que forneçam um caminho mais curto entre a oferta de um novo serviço e a estabilidade operacional do ambiente que o suporta. O Autogerenciamento parece ser uma filosofia com potencial para apoiar as iniciativas propostas anteriormente.

Por outro lado, o autogerenciamento está em sua infância, como preconiza Jennings e outros (2009). Seus princípios fundamentais não têm sido abordados de forma contundente, atenuando os efetivos ganhos esperados. Entretanto, os trabalhos

oriundos da integração de sistemas de informação, tais como os de (IZZA; VICENTE; BURLAT, 2005), (ZHOU, 2010),(FERNANDES et al., 2010), apontam para o uso de Ontologia (Ciência da Computação) como abordagem competente para a solução dessa classe de problemas.

Assim, entende-se que uma abordagem que envolva o uso de Ontologia para o Autogerenciamento de Redes seja capaz de representar um passo a diante nos pretendidos objetivos de se alcançar redes que se autogerenciem.

1.6 PRINCIPAIS RESULTADOS

O principal resultado deste trabalho é a proposta de uma arquitetura, onde uma Ontologia sobre Redes de Transporte serve como motor para a interoperabilidade e reúso de informações semânticas sobre o ecossistema de autogerenciamento. O elemento fundamental dessa arquitetura é o Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte. Essa abordagem permite que às Entidades Autônomas de Gerenciamento estabeleçam um ecossistema em torno dos serviços prestados. A ontologia e os serviços semânticos especificados são os elementos primordiais para a interoperabilidade e o reúso.

Outro resultado importante é o desenvolvimento de um protótipo de software cuja finalidade é avaliar os conceitos defendidos nesta tese e demonstrar a viabilidade técnica da proposta ora apresentada.

1.7 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

O presente trabalho está organizado de forma a apresentar no Capítulo 2 os conceitos fundamentais da Gerência de Redes. Nesse capítulo faz-se uma breve descrição dos principais termos e conceitos ligados à Gerência de Redes (tema dominante deste trabalho), levando à definição do que se têm consolidado tanto na literatura quanto no cotidiano da operação e gerência de uma rede.

O Capítulo 3 apresenta uma revisão bibliográfica dos avanços da Gerência de Redes, descrevendo as abordagens que conduzem para o Autogerenciamento (como área). Nele são analisadas as principais contribuições para o Autogerenciamento e apresentados os indícios de que o uso de Ontologia é uma abordagem promissora para a área.

O Capítulo 4 apresenta, de forma resumida, o processo de construção de uma Ontologia Computacional e sua relação direta com Serviços Semânticos. O capítulo também apresenta uma visão geral da recomendação ITU-T G.805 e discute seu potencial uso como base para a construção de uma Ontologia Computacional.

No Capítulo 5 são identificadas algumas lacunas a serem preenchidas no campo do Autogerenciamento e revisita o Problema Delimitado para uma caracterização mais clara da contribuição pretendida. Depois é apresentada a proposta do autor para a lacuna a ser preenchida, apontando suas principais características, suas especificações e o escopo de desenvolvimento que se pretende alcançar neste trabalho.

O Capítulo 6 apresenta uma implementação experimental e restrita, cujo objetivo é materializar a proposta feita no Capítulo 5 e demonstrar sua viabilidade técnica.

Finalmente, o Capítulo 7 apresenta as principais conclusões da tese e as sugestões de continuidade do trabalho.

2 FUNDAMENTOS DA GERÊNCIA DE REDES

2.1 APRESENTAÇÃO DO CAPÍTULO

Este capítulo apresenta as principais definições e conceitos da disciplina chamada de Gerência de Redes. O texto tem por objetivo mostrar aos leitores os conceitos clássicos da disciplina na qual o presente trabalho se insere. Além disso, pretende criar um contraponto para que ao longo deste trabalho fiquem claras as diferenças entre as técnicas clássicas de gerenciamento de redes e o Autogerenciamento.

Para os leitores com maior exposição ao tema, acredita-se que o texto não traz informações novas.

2.2 INTRODUÇÃO

Para que se possa definir a Gerência de Redes faz-se necessário definir antes seus objetos fundamentais: Redes e Serviços de Telecomunicações. A definição clássica de Rede de Telecomunicações pode ser enunciada como: o conjunto de nós e meios de transmissão, organizados de tal forma a oferecer um serviço de transmissão de informações, nas suas mais variadas mídias, (SAADAWI e AMMAR, 1994, p. 5).

Segundo a recomendação E.800 da ITU-T (ITU-T E.800), a definição de Serviço é: *“A set of functions offered to a user by an organization constitutes a service”*. Trata-se de um conjunto de funções independentes que fazem parte de um processo, que tem por objetivo apresentar um resultado final (estado final) esperado. O fornecimento de um serviço, cada vez mais demanda uma composição de serviços mais básicos. Isso envolve múltiplos Prestadores de Serviço, diferentes tecnologias e diferentes acordos operacionais; visando alcançar o resultado esperado.

Um Serviço de Telecomunicações é caracterizado pela mídia que transporta e utiliza um conjunto de facilidades pertencentes aos elementos da Rede de Telecomunicações que lhe dá suporte. Os Usuários ou Clientes de um Serviço de Telecomunicações são as entidades (humanas ou autônomas) que fazem uso

desses, precisando para isso ter um vínculo (acordo ou contrato prévio) com a Prestadora de Serviço.

2.2.1 Definição e Aspectos do Service Level Agreement (SLA)

Ainda segundo a recomendação E.800 da ITU-T, Assinantes e Prestadores de Serviço devem alinhar suas expectativas quanto ao serviço prestado. Isso deve ser formalizado através de um acordo chamado *Service Level Agreement (SLA)*.

“A service level agreement is a formal document listing a set of performance characteristics and target values (or range) to be delivered for a service or portfolio of services by the service provider. NOTE – A SLA may include statements about performance, tariffing and billing, service delivery compensations and escalation procedures in cases of disagreement.”

O termo SLA significa um acordo formal firmado entre duas partes. É um contrato que existe entre o Provedor de Serviço e o Usuário/Cliente. Foi definido para criar um entendimento comum sobre qualidade do serviço contratado, prioridades no tratamento de eventos, responsabilidades, etc. Um SLA pode cobrir vários aspectos do relacionamento entre o cliente e o provedor de serviço, tais como desempenho dos serviços, *billing* (bilhetagem e cobrança), provisionamento de serviço, multas e compensações, etc

Independente da composição de funcionalidades necessárias para a oferta de um Serviço, o SLA é o conjunto de características visíveis para o Usuário/Cliente. Quaisquer outras características, mesmo que relevantes para a obtenção ou determinação do SLA, fazem parte de outro acordo, interno aos Prestadores de Serviço, chamado *Operational Level Agreement (OLA)*.

Um Parâmetro de SLA é definido como:

“A quantifiable characteristic of a service with specified scope and boundaries. Example: The parameter for estimating the misdialling probability would be expressed as: The number of misdialled calls per 100 call attempt.”

Trata-se de um atributo ou característica para o qual se pode especificar um escopo e um intervalo de valores possíveis (ITU-T E.800). Os Parâmetros são de dois tipos:

- **Objetivos:** que podem ser medidos (observados ou capturados por instrumentos) e representados através de valores pertencentes a uma Unidade de Medida (Grandeza). São também chamados de quantitativos;
- **Subjetivos:** que podem ser expressos usando o entendimento e o julgamento (percepção) humanos. São também chamados de qualitativos;

Um Parâmetro de SLA possui:

- **Indicador (ou Métrica):** valor calculado ou medido para um parâmetro;
- **Unidade de Medida (Grandeza):** unidade pela qual o indicador pode ser expresso;
- **Objetivo (Benchmark):** valor de referência (objetivo a ser alcançado ou mantido) para um Parâmetro;

2.2.2 Definição e Aspectos do *Quality of Service* (QoS)

Também segundo a recomendação ITU-T E.800, Critério é: *“Collections of characteristics or a single characteristic, as appropriate, to describe benefit to user of a product or a service”*. Essa definição pode ser interpretada como um classificador de Parâmetros de SLA que tem por objetivo agrupá-los por afinidade, natureza ou relevância. Os Critérios mais utilizados para os serviços de Telecomunicações são:

- Critérios Operacionais: associados à operação/manutenção do serviço;
- Critérios Intrínsecos: associados à natureza do próprio serviço;

Dentre os Parâmetros que se enquadram no Critério Operacional estão:

- Dependabilidade;
- Manutenibilidade
- Disponibilidade;

Dentre os Parâmetros que se enquadram no Critério Intrínseco estão:

- Desempenho;
- Segurança;

Em seu texto, a recomendação ITU-T E.800 também define *Quality of Service (QoS)* ou Qualidade de Serviço, como: “*Totality of characteristics of a telecommunications service that bear on its ability to satisfy stated and implied needs of the user of the service*”.

Trata-se do conjunto de características que o serviço deve ter para satisfazer as necessidades previamente declaradas pelo assinante. O termo QoS é fortemente associado aos Parâmetros do Critério Intrínseco do SLA, especialmente aqueles associados ao Desempenho.

A teoria clássica da Qualidade de Serviço foi criada quando os Serviços de Telecomunicações estavam muito associados ao tipo de mídia que transportavam e à tecnologia da Rede de Telecomunicações que os suportavam. Essa realidade vem se transformando ao longo do tempo, observando-se atualmente o fenômeno da Convergência de Mídias e Tecnologias de Redes (Redes Multimídia e Redes Convergentes). Como resultado desse fenômeno, surgiu a definição de Classes de Serviço, onde serviços distintos, porém com características semelhantes de QoS, são classificados em um mesmo grupo. Cada grupo ou classe de QoS deve receber o adequado tratamento da Rede de Telecomunicações, a fim de se manter o SLA estabelecido.

2.3 A GERÊNCIA DE REDES E SEUS PRINCIPAIS ASPECTOS

2.3.1 Definição da Gerência de Rede.

A expressão Gerência de Redes é, por natureza, um termo dependente do ponto de vista que se quer adotar. Segundo Black (1995, p. 2) "Talvez a mais útil abordagem

é se apropriar da definição de gerência da escola de administração [...]” (tradução do autor). Em sua definição genérica, Black afirma que Gerência de Redes é a tarefa de planejar, organizar, monitorar, contabilizar e controlar as atividades e recursos de uma rede.

Segundo a definição do documento ITU-T X700/OSI-IS 7498-4 “A gerência é desempenhada de diversas maneiras. Gerência está relacionada com atividades que controlam e monitoram o uso de recursos”.

Para a finalidade deste trabalho é aceito que **Gerência de Redes** é o conjunto de técnicas e práticas que visa investigar, monitorar, controlar, planejar e organizar os recursos e serviços de uma rede de telecomunicações, visando um grau adequado de seu funcionamento, segundo parâmetros de qualidade de serviço previamente estabelecidos. Em última instância, a Gerência de Redes procura estabelecer o equilíbrio entre as necessidades do usuário, as características do serviço prestado e o melhor aproveitamento técnico e econômico dos recursos de uma rede.

Cabe também definir que o **Gerente da Rede** é o responsável pela condução das atividades relacionadas à Gerência de Redes e que um **Sistema de Gerência** de Redes é uma coleção de ferramentas, processos e métodos que tem por objetivo auxiliar o Gerente de Redes em suas tarefas.

2.3.2 Os Primórdios da Gerência de Rede.

A prática da Gerência de Redes é quase tão antiga quanto a própria operação das Redes de Telecomunicações. No princípio, as tarefas relacionadas à manutenção da rede e seus elementos eram o principal objetivo a ser alcançado. Com o passar do tempo, as exigências impostas pela administração de um negócio baseado na oferta de serviços de telecomunicações levaram à necessidade de coleta e análise mais detalhadas de informações.

Em função de sua história, da grande abrangência física e do grande número de usuário, a operação das redes de telegrafia e de telefonia foram sendo discutidas, formalizadas e documentadas. Esses documentos passaram a constituir uma

biblioteca de conceitos, especificações e melhores práticas, posteriormente organizados em Recomendações. Em 1865 uma entidade internacional, formada pelos maiores interessados pelo assunto (provedores de serviços, fabricantes e pesquisadores), foi organizada para gerenciar o processo e garantir sua atualização permanente. Hoje esse organismo é conhecido como *International Telecommunication Union* (ITU) e suas Recomendações sobre telecomunicações são organizadas, especificadas e detalhadas por grupos de trabalho abrigados dentro da divisão de padronização conhecida pela sigla ITU-T.

Inicialmente, as Recomendações do ITU-T eram organizadas por tecnologia, abrangendo aspectos desde a implantação até a operação e gerenciamento dos serviços prestados. Posteriormente, uma série específica de Recomendações (Série M) foi criada para a Gerência de Redes, diminuindo a repetição de informação e propondo um *framework* (estrutura) comum para a Gerência de Redes de Telecomunicação, independente da tecnologia. Essa série de Recomendações de Gerência de Redes é abordada mais a diante neste capítulo.

Atualmente, a ITU é uma agência da Organização das Nações Unidas (ONU), cujo objetivo primário é organizar e compartilhar informações sobre as tecnologias da informação e comunicação.

2.3.3 Gerência de Redes OSI – O Marco Formal.

Um dos principais marcos históricos para as Telecomunicações e para a Gerência de Redes (depois das redes de telegrafia e telefonia) foi o crescimento das Redes de Comunicação de Dados. O Projeto ARPANET (SOARES, 1997), na década de 70 (que culminou no fenômeno mundial conhecido como Internet), e as Redes Locais de Computadores, na década de 80, foram alguns dos principais responsáveis por esse crescimento.

O potencial dos novos serviços oferecidos e a diversidade de tecnologias e protocolos proprietários desencadeou esforços no sentido de se disciplinar a área. Reconhecendo a importância do tema, a *International Organization of Standardization* (ISO), através de seu comitê *Open System Interconnection* (OSI),

apresentou uma relevante contribuição para a formalização do tema, o Modelo OSI de Referência (TANENBAUM, 1994). A arquitetura abstrata publicada no padrão ISO/IEC 7498-1 (BLACK, 1995) pretendia servir de modelo para comunicação entre sistemas abertos. Prontamente aceito pela ITU-T, através de sua Recomendação X.200 (BLACK, 1995), a arquitetura proposta abordava de maneira tímida a questão da Gerência de Redes apontando algumas diretrizes como as de criação de um protocolo de gerência e um conjunto de serviços de gerência. Cada camada do modelo apresentaria recursos próprios para disponibilizar informações para outras entidades OSI que desejassem recuperá-las e mantê-las. Esses foram os documentos que estabeleceram os princípios formais da gerência de rede, conhecidos como Modelo OSI de Gerência.

2.3.4 Recomendações da Série X.700 e as Áreas Funcionais da Gerência de Redes

O grupo de trabalho OSI estabeleceu, através do documento ISO IS 7498-4, a divisão da gerência de redes em cinco áreas funcionais: Gerência de Falhas, Gerência de Configurações, Gerência de Segurança, Gerência de Contas e Gerência de Desempenho (FCAPS - *Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security*). Essa divisão das tarefas de gerenciamento em áreas funcionais foi seguida também pela ITU-T em sua série de recomendações denominada X.700 (BLACK 1995, cap 3). A seguir, a descrição das atribuições de cada uma das Áreas em questão:

- **Gerência de Falhas:** para que uma rede como um todo esteja funcionando corretamente, cada um de seus elementos também deve estar funcionando corretamente. Para Stallings (1999), a distinção entre uma condição de falha e uma condição de erro é fundamental.

O cerne da definição de gerência de falhas é o fundamental conceito de uma falha. [...] Uma falha é uma condição anormal que requer atenção (ou ação) gerencial, enquanto um erro é um evento isolado. [...] Uma falha é geralmente indicada por imperfeições para operar corretamente ou por erros excessivos. (tradução nossa); (STALLINGS 1999, p. 4).

Na gerência de falhas, o administrador deve ser capaz de identificar e isolar o(s) elemento(s) sob condição de falha, além de reconfigurar a rede para que essa funcione enquanto os elementos atingidos são, o mais rapidamente possível, reparados.

- **Gerência de Configuração:** é responsável pela obtenção, documentação e armazenamento dos parâmetros mais adequados ao funcionamento de cada um dos elementos de um sistema. Preocupa-se também com a manutenção da configuração ideal de cada elemento de rede para um perfeito relacionamento entre eles. O *startup* e o desligamento parcial ou total dos elementos de rede, garantindo sua operação com os parâmetros mais adequados, é a atividade de maior impacto nessa área (STALLINGS 1999).
- **Gerência de Segurança:** preocupa-se com a integridade, autenticidade, disponibilidade e o caráter confidencial das informações e dos recursos de uma rede. Além disso, promove o controle e o registro de acessos aos recursos e informações considerados importantes ou confidenciais em uma rede, estabelecendo parâmetros para futuras auditorias (STALLINGS 1999).
- **Gerência de Contas:** responsável por contabilizar a carga de utilização dos recursos da rede e associá-la a cada usuário ou grupo de usuários, atribuindo valores pecuniários a essa utilização. Responde também pela imposição de limites de utilização dos recursos, dependendo do perfil do usuário e tipo de serviço contratado. Muitos de seus relatórios servem para auxiliar o planejamento do crescimento da rede (STALLINGS 1999).
- **Gerência de Desempenho:** segundo Stallings (1999), as redes são um conjunto de recursos compartilhados, demandando especial atenção quanto à relação limite da capacidade versus exigências de utilização. A cada novo serviço ativado essa relação é alterada. As duas atividades centrais da gerência de desempenho são o monitoramento e o controle.
 - Monitoramento: consiste em coletar informações tais como: utilização, tempo de resposta, taxa de erros e perda de dados, comparando-os com os indicadores das condições normais e desejáveis de funcionamento dos recursos compartilhados.

- Controle: são as ações no sentido de adequar as configurações e a capacidade da rede aos parâmetros de desempenho necessários, segundo informações obtidas do monitoramento.

2.3.5 Arquitetura Clássica da Gerência de Redes X.700

Após a aprovação do documento inicial da recomendação X.700, a ITU-T detalhou a arquitetura pretendida para o gerenciamento de redes através da recomendação X.701 (OSI/IS 10040) (FEIT 1995). A arquitetura descrita é composta por seis entidades principais, conforme descrição a seguir:

- **Dispositivo Gerenciável**: trata-se de um equipamento da rede que pode disponibilizar informações úteis à gerência de rede. Por exemplo, um *switch* poderia armazenar a quantidade de quadros processados por ele em um dado intervalo de tempo. Quando o dispositivo tem essa capacidade de computar, armazenar e disponibilizar informações relevantes para um Gerente de Rede, ele passa a ser chamado de dispositivo gerenciável.
- **Processo Agente**: geralmente executado dentro do dispositivo gerenciável, é responsável por administrar as informações armazenadas nos objetos gerenciáveis desses dispositivos, informando seus diferentes estados e respectivos valores ao Processo Gerente. Os Objetos Gerenciáveis são estruturas de dados responsáveis por acumular as informações de gerência. Um mesmo dispositivo gerenciável pode conter diversos objetos gerenciáveis, cada qual guardando uma determinada informação ou grupo de informações.
- **Processo Gerente**: é, geralmente, um software que, ao ser executado em uma máquina, requisita informações e dá ordens aos Processos Agentes. A máquina onde esse processo está sendo executado é chamada de Estação de Gerência. Um único Processo Gerente pode controlar vários Processos Agente, que, por sua vez, podem controlar diversos Objetos Gerenciáveis em seus respectivos Dispositivos Gerenciáveis.
- **Base de Informações de Gerência (MIB - Management Information Base)**: é o conjunto de dados, organizados segundo uma estrutura padrão, onde estão todos os possíveis Objetos Gerenciáveis de uma rede. Esse conjunto

de dados e seu padrão de organização devem ser amplamente conhecidos por agentes e gerentes, permitindo a troca de informações entre eles. O estabelecimento de um padrão para a MIB garante a proteção contra erros de interpretação ou falta de compatibilidade entre os dados trocados.

A Figura 1 apresenta a arquitetura física de distribuição da MIB (cilindro que representa uma base de informações de gerência) entre a Estação de Gerência (onde se encontra o processo gerente) e os dispositivos gerenciáveis (onde se encontram os diversos processos agentes – representados pela letra A).

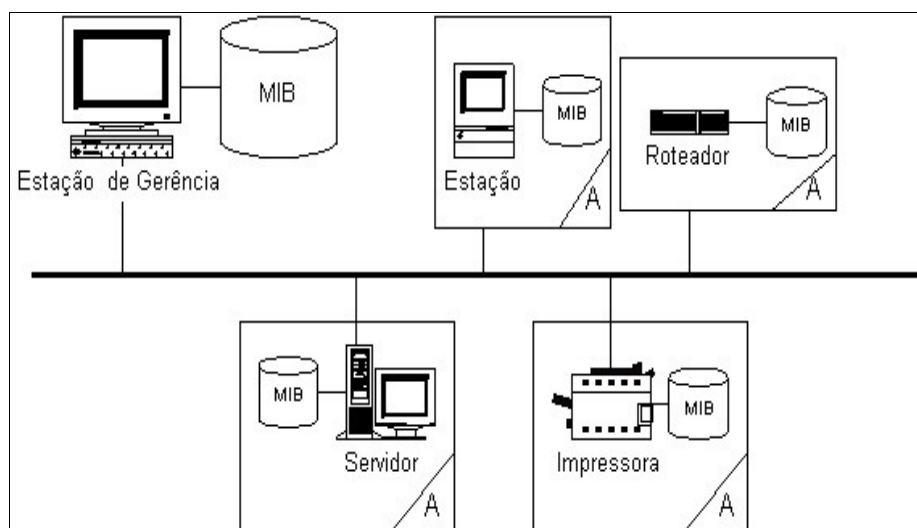


Figura 1: Arquitetura Física da MIB

- **Funções Primitivas de Gerência:** São funções utilizadas por agentes e gerentes para promover a atividade de gerência. São típicas em qualquer padrão ou sistema de gerência as primitivas, por parte do Gerente:
 - GET: Requisita uma informação de gerência ao agente;
 - SET: Requisita ao agente a alteração do valor de um objeto gerenciável;
 - DELETE: Apaga uma instância de um Objeto Gerenciável; e
 - CREATE: Cria uma instância de um Objeto Gerenciável;

por parte do Agente:

- RESPONSE: responde a uma requisição de informação feita pelo gerente e
 - REPORT_EVENT: Reporta a ocorrência de um evento pré-determinado.
- **Protocolo de Gerência**: é o responsável por encapsular as primitivas de gerência e seus respectivos parâmetros, transformando-os em *Protocol Data Units* (PDUs) padronizados. Isso garante a perfeita comunicação entre agente e gerente. Tudo que se refere à codificação, interpretação e apresentação dos dados de gerência, é proporcionado pelo protocolo de gerência.

A dinâmica operacional da gerência de uma rede se resume a duas ações: requisições sucessivas, feitas pelo processo gerente em direção aos processos agentes (conhecida como **Polling**), e **Notificação** de evento relevantes, feitas pelo processo agente em direção ao processo gerente.

Mesmo com todas as suas contribuições, o documento OSI/IS 7498-4 não contemplava informações suficientes para a construção de um *framework* funcional de gerência. O desenvolvimento do padrão se deu na segunda metade da década de 90, através das recomendações X.710/711/712 (*Common Management Information Protocol*), X.720/721/722 (*Management Information Model*), X.730/731/732/733/734/735/736 (*Object Management Function and Alarms*) e X.740 (*Security Audit Trail Function*) que complementam o documento X.701(*System Management Overview*).

2.4 GERÊNCIA DE REDES DE TELECOMUNICAÇÕES - TMN

2.4.1 Conceitos Básicos do TMN

O conjunto de recomendações conhecidas como *Telecommunication Management Network* (TMN) (ITU-T M.3000) aproveitou todo o esforço de construção do

framework OSI de Gerência, visando padronizar os serviços de gerenciamento de uma rede de telecomunicações.

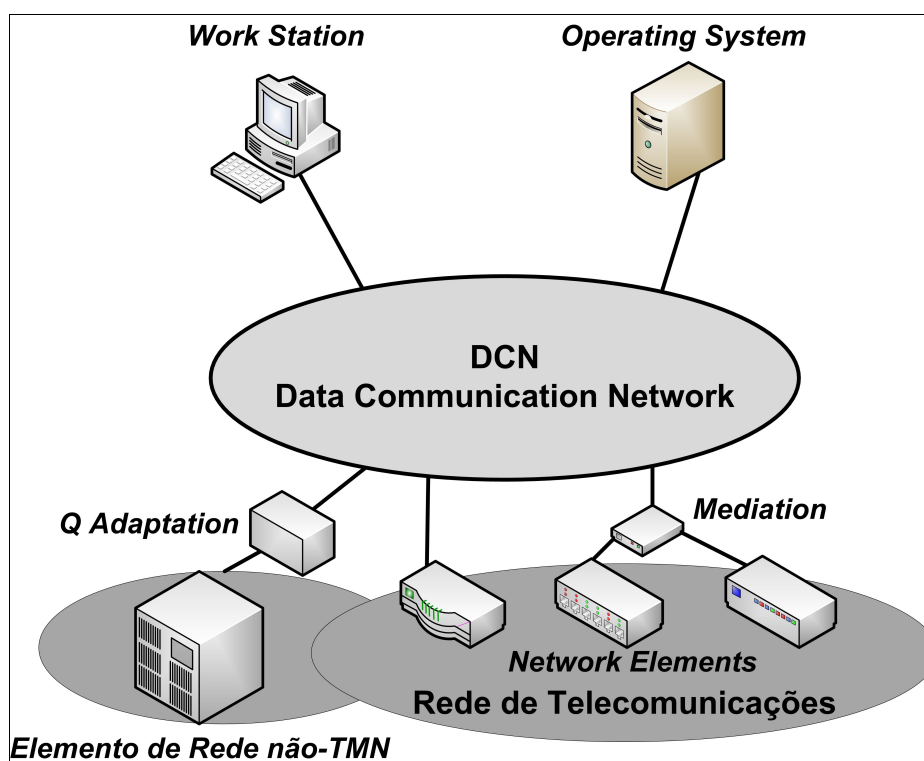


Figura 2: Arquitetura Física de Gerência TMN

Essa foi uma maneira de reorganizar diversas iniciativas, muitas delas dependentes da tecnologia alvo, que haviam sido estabelecidas em diversas recomendações da ITU-T, especialmente da série E. Os conceitos básicos do TMN foram documentados na recomendação M.3000. Já a arquitetura física e lógica, as interfaces de comunicação e a descrição das principais características estruturais foram abordadas nos documentos M.3010 e M.3020.

A arquitetura do TMN, apresentada na Figura 2, identifica alguns elementos funcionais que podem ser aproximados aos da arquitetura OSI original. São eles:

- **DCN (Data Communication Network):** rede de dados exclusiva para a execução das atividades de gerência;
- **WSF (Workstation Function):** estação de trabalho para que o ser humano tenha acesso às funções e informações de gerência;

- **OSF (Operational System Function):** sistema operacional que suporta a execução de todos os processos de gerência, bem como a troca de informações entre os elementos funcionais;
- **MF (Mediation Function):** interface mediadora que converte os dados recebidos dos elementos de rede para o padrão de comunicação do sistema operacional (*socket, mailslot, named pipe* e etc.);
- **NEF (Network Element Function):** representam os *Elementos de Rede* que serão gerenciados pelo *TMN*. São equivalentes aos agentes dos elementos gerenciáveis, sendo capazes de se comunicar diretamente com o *OSF* ou com o *MF* escolhidos;
- **QAF (Q Adapter Function):** adaptadores de interface, responsáveis por compatibilizar padrões de gerência proprietários (ou *não-TMN*) com o padrão de interface *TMN*. Como exemplo tem-se as interfaces: **q3** - comunicação entre OSF e NEF ou QAF; e **x** - comunicação entre OSFs de domínios diferentes;

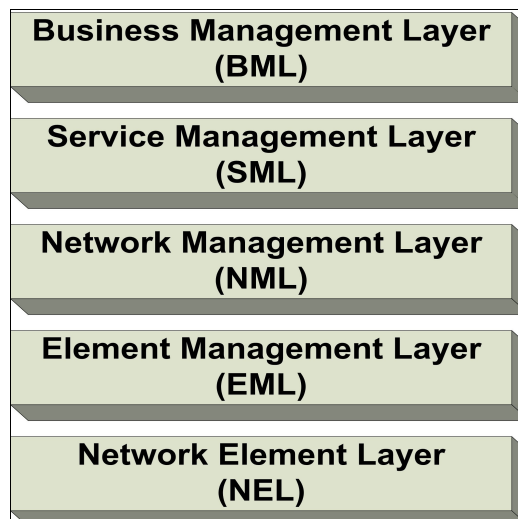


Figura 3: Camadas de Gerenciamento TMN

O TMN ainda propõe dividir as ações e serviços de gerência em camadas, de forma a organizar os níveis de visão e de interesse de cada uma delas. A Figura 3 mostra a Pirâmide TMN, onde cada uma dessas camadas é devidamente apresentada, conforme sua relação com a rede e com o negócio (*business*) suportado. Abaixo segue o detalhamento de cada nível de visão:

- **Network Element Layer (NEL):** camada onde estão os elementos de rede;

- **Element Management Layer (EML):** gerencia cada elemento de rede, individualmente ou em grupos, e suporta uma abstração das funções demandadas pela camada superior;
- **Network Management Layer (NML):** tem a responsabilidade de gerenciar a rede através da abstração fornecida pela Gerência do Elemento de Rede;
- **Service Management Layer(SML):** é responsável pelos aspectos contratuais dos serviços que são prestados aos clientes ou apresentados aos potenciais clientes, tendo como principais funções: pedido de implantação de serviço, gerenciamento da qualidade do serviço prestado, ativação e desativação de serviço.
- **Business Management Layer (BML):** camada que têm como objetivo a gestão do negócio, onde os serviços oferecidos influenciam no desempenho de toda a empresa.

2.4.2 Visão Geral das Demais Recomendações TMN

O reaproveitamento do *framework* OSI de Gerência pode ser visto mais claramente na recomendação M.3100, onde os objetos gerenciados (X.720/721/722) e o protocolo de gerência (X.710) são usados.

Já a recomendação M.3200 (ITU-T M.3200) estabelece as Áreas Gerenciadas das Telecomunicações, definição dada a uma tecnologia ou grupo de equipamentos responsáveis pelo provimento de uma classe de serviço. Como exemplos são citados os serviços de telefonia por comutação de circuitos, as linhas dedicadas, os serviços de dados e vários outros. Cada uma das Áreas Gerenciadas é associada a um conjunto de Serviços de Gerência, formando uma matriz que evidencia as tarefas de gerência relacionadas com cada uma das tecnologias. Como exemplos de Serviços de Gerência TMN são citados: Administração de Clientes, Gerência da Força de Trabalho, Gerência de Aprovisionamento de Rede, etc. Essa recomendação muda o foco dos documentos anteriores, preocupados com a arquitetura de gerência e seus protocolos, e aponta para processos que devem ser estabelecidos no uso do TMN.

A criação de interfaces de interação homem-máquina e a capacidade de evidenciar as informações de gerência são o alvo da recomendação M.3300. Nela, é especificada uma série de relatórios e funções de visualização de dados. A esses são associados os níveis de visão, conforme a Arquitetura Lógica do TMN.

A fusão entre as Áreas Funcionais da Gerência com os Serviços de Gerência TMN é descrita na recomendação M.3400, que proporciona um guia de atividades que devem ser desempenhadas no gerenciamento de uma rede. Cada atividade é classificada dentro de uma Área Funcional da Gerência OSI, criando um elo de ligação com as recomendações da série X.730/731/732/733/734/735/736 e X.740. Alguns exemplos de atividades são:

- **Gerência de Desempenho:** Controle de Qualidade do Desempenho, Monitoramento de Desempenho, Controle de Desempenho, Análise de Desempenho;
- **Gerência de Falha:** Controle de Qualidade da Disponibilidade, Confiabilidade e Continuidade Operacional, Acompanhamento de Alarmes, Localização de Falhas, Reparação de Falhas, Testes e Administração de Problemas.
- **Gerência de Contabilidade:** Medição de Utilização. Tarifação/Preço, Faturamento, Finanças e Controle do Negócio.
- **Gerência de Configuração:** Engenharia e Planejamento de Rede, Instalação, Planejamento e Negociação de Serviços, Aprovisionamento, Status e Controle da Rede.
- **Gerência de Segurança:** Prevenção, Detecção e Contenção de Ameaças, Recuperação de Desastres e Administração de Segurança.

Cada uma das atividades listadas anteriormente é dividida ainda em um conjunto de tarefas mais detalhadas. Todas essas atividades formam o arcabouço de procedimentos práticos da Gerência de Redes de Telecomunicações.

2.5 A INICIATIVA DA GERÊNCIA INTERNET – SNMP

Uma iniciativa paralela ao *framework* OSI é o padrão de gerenciamento Internet. Embora sua ideia inicial tenha nascido de forma restrita e focada no problema

associado à comunicação Internet, sua adoção alcançou uma escala mundial. Esse fenômeno proporcionou a difusão dos padrões de gerência Internet na área das telecomunicações.

2.5.1 Aspectos Históricos

No início de 1988, o *Internet Architecture Board* (IAB), órgão criado com a função de "legislar" sobre os padrões da Internet, declarou ser urgente a necessidade de um modelo padrão de gerência aplicável, em caráter imediato, ao parque computacional instalado na comunidade Internet. O IAB afirmava, ainda, não ser capaz de definir exatamente o que compreendia a Gerência de Redes (o documento X.700 ainda não havia sido publicado). A ordem foi estabelecer um modelo simples, de fácil implementação e aberto, possibilitando adoção imediata pelos mais diversos fabricantes. Existia também a intenção de compatibilizar o modelo de gerência Internet com a proposta de gerência OSI, estabelecida pela recomendação X.200, quando essa estivesse mais madura (FEIT 1995). Atendendo à demanda do IAB, o grupo conhecido como *Internet Engineering Task Force* (IETF), responsável pelo desenvolvimento de soluções técnicas para problemas da Internet, desenvolveu o conjunto de conceitos e protocolos necessários à implementação da atividade de gerência de redes na Internet. Fortemente baseada na arquitetura genérica de gerência proposta pelo OSI, tratava-se de uma versão simplificada, e talvez limitada, desse. Essa versão foi inspirada também no padrão *Simple Gateway Management Protocol* (SGMP), *Request for Comments* (RFC) 1028 de 1987, padrão proposto para controle e gerência de roteadores (FEIT, 1995).

Durante o desenvolvimento do *framework* de gerência Internet, o IAB resolveu esperar pelo padrão mais completo e aberto que já estava sendo pensado pelo OSI. O modelo de gerência baseado no serviço e no protocolo OSI de gerenciamento de redes, o *Common Management Information Service Element / Common Management Information Protocol* (CMISE/CMIP), poderia ser aplicado às redes *Transport Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP) (SOARES, 1997). Essa iniciativa ganhou o nome de *CMISE over TCP/IP* (CMOT), cuja principal justificativa era unir esforços no desenvolvimento de um padrão unificado com a ISO e a ITU-T.

O IAB aguardou o término da definição dos conceitos que fundamentavam o modelo OSI de gerência, anunciando essa sua intenção através da RFC 1095.

2.5.2 SNMP

No começo da década de 90 o IAB, percebendo a complexidade e a lentidão com que se desenvolvia o padrão de gerência OSI, decidiu que não era mais possível esperar pela integração dos padrões. Aproveitando os esforços feitos desde 1988, decidiu finalizar a formalização de sua iniciativa própria de gerenciamento, denominada SNMP, e torná-la o padrão de gerência Internet até que a gerência OSI pudesse ser implementada. A Figura 4 mostra a arquitetura geral do SNMP, onde se destacam os principais elementos funcionais (*Management Station* – processo gerente; *Host/Router* – processos agentes) e a pilha de protocolos utilizada para o transporte de informações de gerência (SNMP utilizando o UDP e o IP como transportadores).

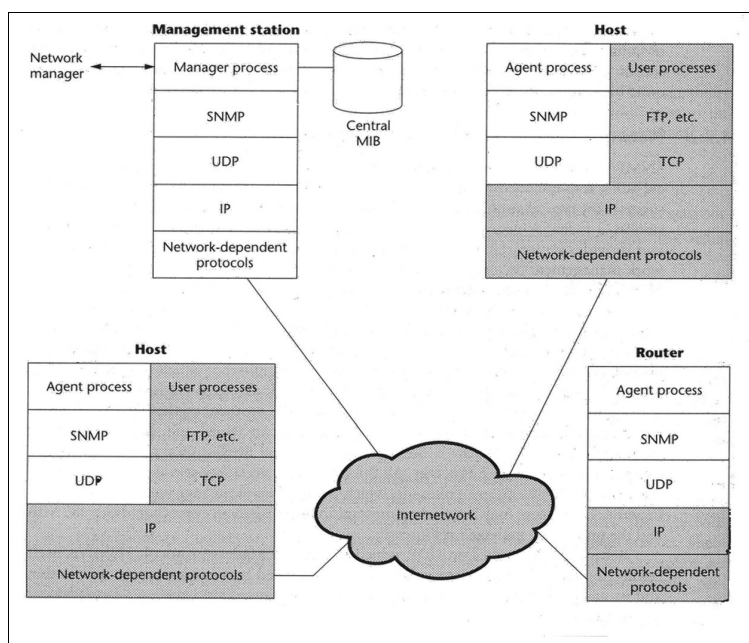


Figura 4: Arquitetura SNMP

Fonte: (STALLINGS, 1999, pg. 80)

Para alcançar seus objetivos iniciais, era necessário que o padrão de gerenciamento Internet fosse de fácil implementação, permitindo uma rápida difusão no mercado. O

chamado SNMPv1 se valia da arquitetura Agente/Gerente/MIB para designar os papéis de gerência em uma rede, adotando uma versão simplificada do modelo OSI de gerência. O Agente deveria ser um elemento bastante simples e de fácil implementação. Em função disso, a MIB foi concebida com o conceito simplificado de Objetos Gerenciáveis baseados em tipos de dados tais como: *Bits*, Inteiros, *Strings* e composições de dados do tipo *Registro*; que não podem ser comparados à iniciativa conhecida como Orientação a Objetos, que influenciou a gerência OSI. Os objetos foram organizados em uma estrutura de armazenamento do tipo árvore, chamada de *Structured Management Information (SMI)*, facilitando a identificação de cada um deles. Dentro da SMI foram criados grupos temáticos, permitindo uma melhor organização dos objetos (*System, Interfaces, AT, IP, ICMP, TCP, UDP, SNMP*). Para implementar a troca de informação Agente/Gerente foram criadas as primitivas:

- *Get_Request*
- *Get_Next_Request*
- *Set_Request*
- *Get_Response*
- *Trap* (notificador de eventos)

O SNMP utilizava os serviços de transporte através do *User Data Protocol (UDP)*, tornando-se funcional apenas em arquiteturas TCP/IP (SOARES, 1997).

2.5.3 OUTRAS VERSÕES DO SNMP

Após os primeiros anos de vida, o padrão SNMP mostrou-se realmente simples. Porém, ainda lhe faltavam pontos relevantes para que pudesse atender às necessidades de operação na Internet. Na versão 2, cuja discussão foi iniciada em 1992, foram introduzidos: o contador de 64 bits (*Counter64* – que permitiu o aumento da capacidade de representação de alguns fenômenos mais frequentes); a primitiva *Get_Bulk* (que permitiu a requisição de todo um grupo de objetos da SMI através de uma única operação); a troca de informação entre gerentes (gerente trocando dados com outro gerente) e um pequeno aumento da segurança de acesso aos dados de um agente (SNMP 2c)

Em 1997, através das RFCs 2271 a 2275, a versão 3 do SNMP foi proposta para resolver o problema de segurança das versões anteriores. Com uma visão moderna, o IETF remodelou o SNMP para suportar uma arquitetura modular, capaz de abrigar os novos e velhos requisitos de funcionamento.

Mantendo o conceito fundamental Agente/Gerente/MIB, a estratégia foi modularizar as funções internas dos agentes e gerentes garantindo um alto grau de flexibilidade. Isso permitiu a coexistência das três versões em um único ambiente de gerência, já que o Gerente e o Agente SNMPv3 são capazes de tratar primitivas das três versões simultaneamente (STALLINGS 1999). Além disso, técnicas de autenticação e criptografia foram colocadas à disposição para garantir a segurança da comunicação entre agentes e gerentes.

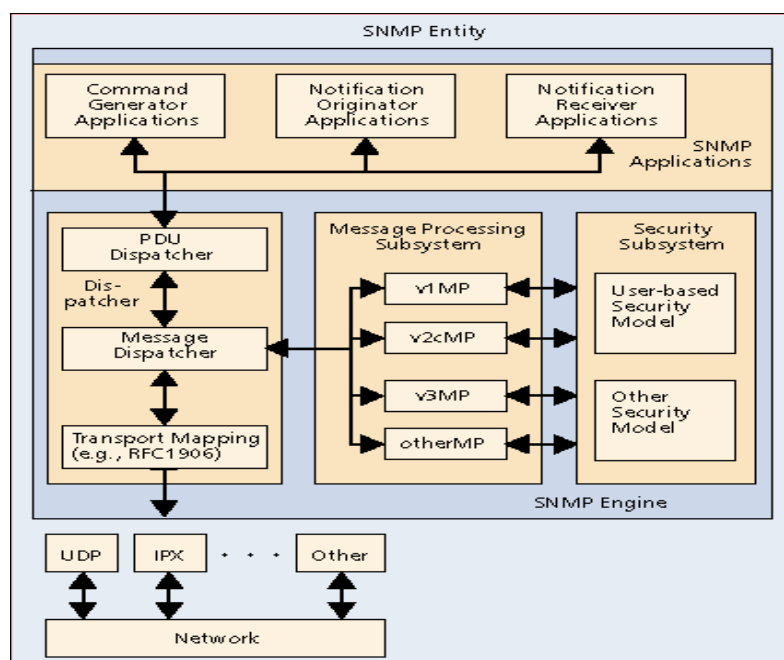


Figura 5: Arquitetura Interna do SNMP v3

(Fonte: STALLINGS 1999)

A arquitetura básica de uma entidade SNMP v3, apresentada pela Figura 5, é composta por 9 elementos funcionais, divididos em duas camadas. A seguir é apresentada uma descrição sucinta dessa arquitetura (STALLINGS 1999).

- **Motor SNMP:** camada responsável por abrigar as entidades que operam as primitivas de gerência. Dentro dessa camada se encontram os seguintes elementos:
 - **Dispatcher:** elemento que cuida do despacho de PDUs entre os elementos da camada de Aplicação e entidades remotas. Proporciona

suporte às diferentes versões de PDU (SNMP v1, v2 e v3) encaminhando cada um deles para o seu respectivo decodificador.

- **Message Processing Subsystem:** responsável pela codificação e decodificação de PDUs, observando as versões utilizadas. Possui submódulos que respondem por versões específicas de PDUs de um protocolo de gerência.
- **Security Subsystem:** sistema responsável pelo fornecimento de serviços de segurança, tais como autenticação e criptografia. Cada submódulo desse elemento representa um modelo de segurança em especial, que pode ser exigido na troca de dados entre duas entidades de gerência;
- **Access Control Subsystem:** geralmente implementado apenas nos agentes e *proxies*, proporciona mecanismos de verificação de permissões de acesso a MIB ou de envio de notificações;
- **Aplicações SNMP:** camada responsável por abrigar as aplicações que efetivam a gerência de redes através de funções de gerência que serão traduzidas em primitivas requisitadas à camada *Engine* SNMP. Os elementos contidos aqui são:
 - **Command Generator:** esse elemento inicia as funções de gerência requisitando o envio de PDUs tais como: *Get*, *GetNext*, etc.;
 - **Command Responder:** elemento que responde a uma função de gerência iniciada por outra entidade. A resposta é feita através da função *GetResponse*;
 - **Notification Generator:** elemento responsável por gerar eventos de notificação, configurados por outra aplicação. Um de seus trabalhos é determinar para quem mandar as notificações e qual a versão de PDU usar;
 - **Notification Receiver:** recebe as notificações e gera respostas quando essas são exigidas;
 - **Proxy Forwarder:** reencaminha mensagens SNMP, fazendo a ligação entre aplicações que não se comunicam diretamente.

O controle de acesso a MIB foi outra melhoria trazida nessa nova versão. Baseado na estratégia *View Access Control Mode* (VACM), o novo esquema de acesso a MIB

prevê a criação de visões (conjunto de objetos gerenciáveis), estabelecendo contextos de gerenciamento onde cada grupo de usuários recebe direitos específicos de acesso. Assim, cada membro do grupo deve conhecer os requisitos de segurança (senhas e identificação de contexto) para ter acesso à sua visão. Com essa melhoria, diferentes gerentes podem ter visões bem definidas da mesma MIB, diminuindo riscos de segurança presentes em uma rede real (STALLINGS 1999, p.525).

As mudanças exigiram a criação de novas MIBs. Dentre elas:

- SNMP-TARGET-MIB: abriga as informações relacionadas com a identificação e o endereçamento de *hosts* que receberão informações de gerenciamento.
- SNMP-NOTIFICATION-MIB: abriga as informações sobre a configuração das notificações que serão geradas, seus parâmetros de operação, seu relacionamento com os *hosts* alvo, filtros aplicáveis e etc.
- SNMP-PROXY-MIB: contém informações sobre a configuração de reencaminhamento de informações de gerência (*Proxy*).

Não foi possível, porém, fugir do aumento da complexidade trazida por essa nova abordagem. Os agentes serão mais complexos e os dispositivos gerenciáveis deverão contar com plataformas de processamento mais robustas. O grande aliado dessa nova versão é sua capacidade de operar em ambientes híbridos, contendo entidades das versões inferiores. Outro fator importante é que a nova arquitetura modular de agentes e gerentes permite acomodar outras funcionalidades que venham se tornar necessárias no futuro.

2.5.4 RMON

Um interessante desdobramento da arquitetura proposta pelo SNMP foi a fusão do protocolo de gerenciamento Internet com o monitoramento fornecido pelas ferramentas de análise de pacotes da *Local Area Networks* (LANs) (SOARES, 1997). Os *Sniffers*, ou analisadores de protocolo, são ferramentas capazes de observar as principais informações contidas nos cabeçalhos dos quadros e pacotes

que trafegam em uma LAN ou sub-rede. Uma vez que o SNMP tem como alvo os elementos de rede, informações como: a Matriz de Tráfego e a Utilização Total da Sub-rede; são de difícil obtenção.

O *Remote Monitoring* (RMON), RFC 1757 (atualmente RFC 2819) é uma extensão ao SNMP onde o Agente é capaz de coletar dados offline (sem a necessidade de *polling* do gerente), tendo como alvo o tráfego do segmento ou sub-rede que ele monitora. Além disso, o Agente RMON pode gerar estatísticas e históricos pré-definidos, além de capturar amostras do tráfego para posterior análise. Todas as informações coletadas e os cálculos efetuados são armazenados em objetos da MIB-RMON. O protocolo de troca de dados entre Agente e Gerente é o próprio SNMP (STALLINGS, 1999).

A MIB-RMON versão 1 (RFCs 1513 e 1757) possibilita aquisição de informações relacionadas com as camadas 1 e 2 do modelo OSI (Stallings, 1999, p. 222). Essas informações são organizadas em forma de relatórios onde se pode, por exemplo, verificar os *hosts* com maior contribuição para o tráfego em um elemento de rede.

A MIB-RMON versão 2 (RFCs 2021 e 2074/2895/3395) estende a capacidade do agente RMON para as camadas 3 a 7 do modelo OSI, em especial o que tange a família TCP/IP. Um exemplo de sua capacidade é a informações sobre o interesse de tráfego entre determinados *hosts* (IP para IP ou TCP para TCP).

Depois de diversas extensões e ajustes, o IETF resolveu reorganizar os padrões do RMON através de um documento introdutório, a RFC 3577. Esse documento resume todas as alterações feitas desde o padrão original. Analisando-se a RFC 3577, percebe-se a quantidade de oportunidades de uso desse padrão na gerência de redes. Alguns dos mais promissores são:

- [\[RFC2613\]](#) "Remote Network Monitoring MIB Extensions for Switched Networks Version 1.0" – Junho de 1999. Ajustes para adaptar-se ao crescente uso de *Switches* nas redes locais;
- [\[RFC3144\]](#) "Remote Monitoring MIB Extensions for Interface Parameters Monitoring" – Agosto de 2001;
- [\[RFC3273\]](#) "Remote Network Monitoring Management Information Base for High Capacity Networks", Julho de 2002;

- [APM] "Application performance measurement MIB", Trabalho em andamento;
- [RAQMON-FRAMEWORK] "Real-time Application Quality of Service Monitoring (RAQMON) Framework", trabalho em andamento;
- [RAQMON-MIB] "Real-Time Application Quality of Service Monitoring (RAQMON) MIB", trabalho em andamento.

Vale destacar a importância do RMON para a Gerência de Redes. Os conceitos desenvolvidos por esse padrão Internet representam os primórdios da Gerência Distribuída, permitindo que alguma inteligência de gerenciamento possa ser embarcado em entidades mais próximas dos sistemas alvo. Uma grande vantagem dessa abordagem é a diminuição do tráfego entre gerente e agente e a continuidade do gerenciamento, mesmo em condições de falha da comunicação entre eles.

Embora o RMON tenha trazido avanços consideráveis à Gerência de Redes, sua implementação por parte dos fabricantes caminha lentamente. A maioria dos equipamentos que fornecem agentes compatíveis com esse padrão não implementa todos os grupos de objetos. Essas implementações parciais restringem grande parte das funcionalidades mais inovadoras.

2.6 OUTRAS INICIATIVAS RELEVANTES PARA A GERÊNCIA DE REDES

2.6.1 Os Sistemas de Informação na Gerência de Redes

Um movimento importante para a disciplina de Gerência de Redes foi o de integração de ferramentas em um sistema computacional que pudesse automatizar processos e organizar os dados para a geração de informações. Esse movimento é uma derivada óbvia da disciplina da Computação chamada de Sistemas de Informação, cujo principal objetivo é automatizar processos de negócio, armazenar e organizar dados para a geração de relatório que apoiem a tomada de decisão. Observando-se as tarefas do gerenciamento de rede, expostas nas recomendações

da ITU (resumidas posteriormente na série M de recomendações), nasceram as chamadas plataformas *Operating Support System / Business Support System* (OSS/BSS) ou ainda plataformas *Operation, Administration, Maintenance and Provisioning* (OAM&P) (TMFORUM, **NGOSS**, 2010). Embora diferentes fornecedores tenham sugerido modelos de dados e arquiteturas particulares, cada qual com seus diferenciais competitivos, a construção de plataformas OSS/BSS deixou claro o volume e a complexidade das informações e processos que deveriam ser realizadas por um Gerente de Redes.

Ainda nos dias atuais a construção de um sistema de OSS/BSS é um assunto relevante. No intuito de organizar melhor as tarefas e informações a serem tratadas por essa categoria de sistemas, o TMForum desenvolveu um conjunto de especificações prevendo uma integração capaz de abrigar todas as funções e serviços de gerência presentes na recomendação M.3400 (FCAPS). Essa especificação recebeu o nome de *Operating and Support System* (OSS). Recentemente, com o surgimento das *Next Generation Networks* (NGN) as especificações foram reformuladas, gerando a denominação *Next Generation Operation and Support Systems* (NGOSS). Dentro do escopo da iniciativa OSS e NGOSS está também a proposta de implementação de referência chamada de *OSS Through JAVA* (OSS/J) (TMFORUM, **OSS/J**, 2010). Trata-se da especificação de um conjunto aberto de *Application Programming Interfaces* (API), escritas na linguagem de programação JAVA, que dão suporte aos processos de negócio especificados na iniciativa NGOSS.

O uso de uma plataforma OSS/BSS é uma questão sensível dentro das Prestadoras de Serviços de telecomunicações. Muitas vezes essas plataformas (ou partes dela) são construídas sob medida para cada Prestadora. Esse fato gera um considerável esforço para mantê-las atualizadas, levando a sistemas cada vez mais complexos e interdependentes. Entretanto, dentre as diversas funções dessas plataformas existem lacunas a serem preenchidas com mecanismos mais eficientes e autônomos, trazendo benefícios econômicos em relação à operação baseada no agente humano.

Observa-se que a construção das plataformas OSS/BSS ainda é bastante dependente da tecnologia/fabricante da rede operada, dos processos de negócio da

Prestadora e das técnicas de programação da época em que foram desenvolvidas. A adição de novos processos e tecnologias é sempre um ponto sensível na gestão do ciclo de vida dessas plataformas. Algumas vezes a adoção de ferramentas separadas, para cobrir funções específicas, se torna uma alternativa atraente, mesmo comprometendo todo o esforço de integração.

Percebe-se também que o tradicional modelo de dados dos sistemas de informação OSS/BSS não possui uma separação clara entre o modelo conceitual (o entendimento sobre os conceitos abordados) e os detalhes técnicos da representação da informação, com seus respectivos pontos de transformação.

2.6.2 Arquitetura de Gerenciamento: Centralizada X Distribuída

O modelo de arquitetura centralizado, utilizado no desenvolvimento dos primeiros sistemas OSS/BSS, foi o catalisador da discussão sobre a centralização ou distribuição dos dados e das atividades da Gerência de Redes. É interessante observar que a Gerência de Redes abrange um cenário inerentemente distribuído, a Rede de Telecomunicações. Assim, a coleta de informações de gerência é, naturalmente, uma atividade distribuída, mas a aglutinação, análise e tomada de decisão sobre ela não necessariamente o é.

A arquitetura centralizada, que de certa forma havia sido incentivada pelos primeiros padrões de gerenciamento de redes, apresentava inúmeras desvantagens técnicas como: concentração do tráfego de gerência sobre algumas facilidades de transmissão, pontos críticos em relação à falha, problemas de aumento da escala do aparato de gerência, etc. Observa-se que as iniciativas IETF SNMPv2 (com a introdução de uma hierarquia de aplicações gerente) e RMON (monitoramento local, no elemento de rede, para geração de informações qualificadas) acusam a sensibilidade do IETF para o problema, constituindo as primeiras iniciativas, embora bastante tímidas, na direção da distribuição da Gerência de Redes.

Uma alternativa ao modelo centralizado de sistemas de gerência foi apresentada quando arquiteturas de distribuição de objetos e componentes de software se tornaram disponíveis. O uso da arquitetura e serviços CORBA (OMG, 2010),

juntamente com outros *middleware systems* (camadas intermediárias de Software), amenizou a questão concernente ao ponto único de operação. Um dos principais resultados conseguidos com a distribuição de componentes foi a criação de escopos de gerenciamento hierarquizado, tornando a arquitetura tradicional mais flexível e tolerante a falhas.

Atualmente, arquiteturas dependentes de tecnologia, tais como *Java Enterprise Edition* (JEE) (SUN, **JAVA EE REFERENCE AT A GLANCE**, 2010), *The Dynamic Module System for Java* (OSGi) (antigo *Open Services Gateway Initiative*) (OSGI ALLIANCE, 2010), *Microsoft Component Object Model* (COM) e *Microsoft .NET Framework* (Microsoft COM 2010) são utilizadas como alternativa ao CORBA.

Porém, algumas questões continuaram a preocupar os pesquisadores da área: a definição do escopo de autoridade de cada região gerenciada, a viabilidade do modelo para suportar a distribuição em larga escala e a agilidade necessária para ações reativas em micro ambientes de uma região.

2.6.3 A Iniciativa Web-Based Enterprise Management (WBEM) – Distributed Management Task Force

Uma questão bastante relevante para a gerência de redes é "*o que fazer*" com as informações de gerência. Como essa informação pode alimentar as os diversos processos de gerenciamento, mesmo que esses estejam em ferramentas e sistemas diversos (heterogêneos). Tem-se aqui uma preocupação clara com a integração de sistemas e a interpretação coletiva e inequívoca de dados (interoperabilidade).

O organismo conhecido como *Distributed Management Task Force* (DMTF), formado por fabricantes de sistemas operacionais, computadores pessoais e equipamentos de rede, lançou a ideia do gerenciamento de todo o ambiente de computação distribuída de uma empresa a partir da tecnologia *Web*. O *Web-Based Enterprise Management* (WBEM) é uma iniciativa de unificação dos diferentes tipos de elementos que compõem a infraestrutura de Tecnologia da Informação (TI), através de consoles *Web* (baseados na tecnologia *World Wide Web*).

Para tanto, foram propostos novos protocolos de troca de informação de gerência, além de novos modelos de objetos de gerência. As iniciativas já consolidadas (SNMP e CMIP/CMISE) poderiam ser adaptadas ao novo modelo, desempenhando um papel coadjuvante (DMTF, **WBEM**, 2010).

Um dos pilares do WBEM é o *Common Information Model* (CIM), que especifica um esquema onde é definido um modelo comum (a todos os fabricantes) de informações de gerenciamento, envolvendo: sistemas, redes, aplicações e serviços. Sua concepção é flexível o suficiente para acomodar extensões, proporcionando uma semântica mais rica para a troca de dados de gerência (DMTF, **CIM**, 2010). O metamodelo é descrito através do esquema (*Schema*) e os detalhes de integração com outros padrões de gerenciamento é tratado na especificação (*Specification*).

Dentre essas outras iniciativas do DMTF, agregadas ao WBEM, pode-se citar:

- **Directory Enabled Network (DEM)**: é um conjunto de especificações voltadas para mapeamento entre o CIM dentro de um Serviço de Diretórios de uma empresa, através do suporte ao protocolo *Light-weight Directory Access Protocol* (LDAP). Essa união permite que elementos importantes do gerenciamento de uma rede (políticas, grupos de usuários, informações da empresa, etc.) se alinhem com o modelo de dados comum proposto pelo DMTF.
- **Alert Standard Format (ASF)**: é uma iniciativa em direção à padronização de mensagens de alerta e mecanismos de controle de sistemas remotos, permitindo o gerenciamento de elementos que não se encontram sobre monitoramento direto do CIM. É um exemplo de abordagem de padronização do Correlacionamento de Alarmes e do Controle Remoto.
- **System Management Basic Input Output System (SMBIOS) e o Systems Management Architecture for Server Hardware (SMASH)**: são iniciativas para mapear informações ligadas ao hardware de *desktops* e de servidores ao CIM. O desejo do DMTF é propor padrões que aumentem a eficiência das atividades reais do gerenciamento de uma rede, evitando o *gap* entre informações e processos de gerenciamento.

2.6.4 Iniciativa TMForum – *Telecommunication Operation Maps*

É importante entender que a iniciativa OSS/NGOSS está fortemente associada ao conjunto de processos de negócio de uma operadora de telecomunicações. Esses processos de negócio também foram especificados e formalizados através da iniciativa TMForum *Telecommunications Operation Map* (TOM) e *enhanced TOM* (eTOM) (TMFORUM, **eTOM**, 2010). Eles representam as melhores práticas de gestão dos serviços oferecidos por uma prestadora de serviços de telecomunicações, englobando desde os processos operacionais até os de relacionamento com o usuário/cliente.

O eTOM, sucessor do TOM, abrange não só questões operacionais, mas também comerciais e estratégicas. Todos os processos são descritos com um elevado nível de detalhes, permitindo sua implementação através de técnicas e ferramentas variadas. Outro ponto forte é sua capacidade de interagir com propostas similares, tais como o *Information Technology Infrastructure Library* (ITIL)(OGC. **What is ITIL?**, 2010), proposta para a gestão de serviços de tecnologia da informação em uma organização.

Atualmente, o eTOM foi adotado pelo ITU-T e publicado em sua recomendação M.3050.

2.6.5 Iniciativa TMForum - *Multi-Technology Network Management*

Provedores de Serviço de Telecomunicações convivem com redes multimarcas e multi tecnologias. Gerenciar essa diversidade apresenta grandes desafios de integração de ferramentas e modelos de dados, a fim de se alcançar o gerenciamento integrado. Nesse contexto, o *Multi-Technology Network Management* (MTNM), do *TeleManagement Forum* (TMForum), apresenta um modelo de solução comum para uma série de tecnologias de transporte, incluindo *Synchronous Optical Network* (SONET), *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH), *Dense Wavelength Division Multiplex* (DWDM), *Asynchronous Transfer Mode* (ATM) , *Ethernet* , dentre outras (TMFORUM, **MTNM**, 2010).

Partindo das premissas que: o Gerenciamento de Rede (NM) é feito sobre as funções de gerenciamento de Elemento de Rede (EM) e que um Sistema de Gerenciamento de Rede (NMS) precisa interagir com Sistemas de Gerenciamento de Elementos de Rede (EMS); tem-se como consequência a necessidade de se produzir modelos de dados e interfaces de comunicação padronizadas.

Sobre essas premissas foram elaborados três documentos principais:

- **TMF 513 – MTNM Business Agreement:** é o documento fundamental cujo principal objetivo é descrever os elementos funcionais envolvidos em uma rede de transporte, estabelecendo um modelo de informação comum entre *Network Management Systems* (NMS) e *Element Management Systems* (EMS).

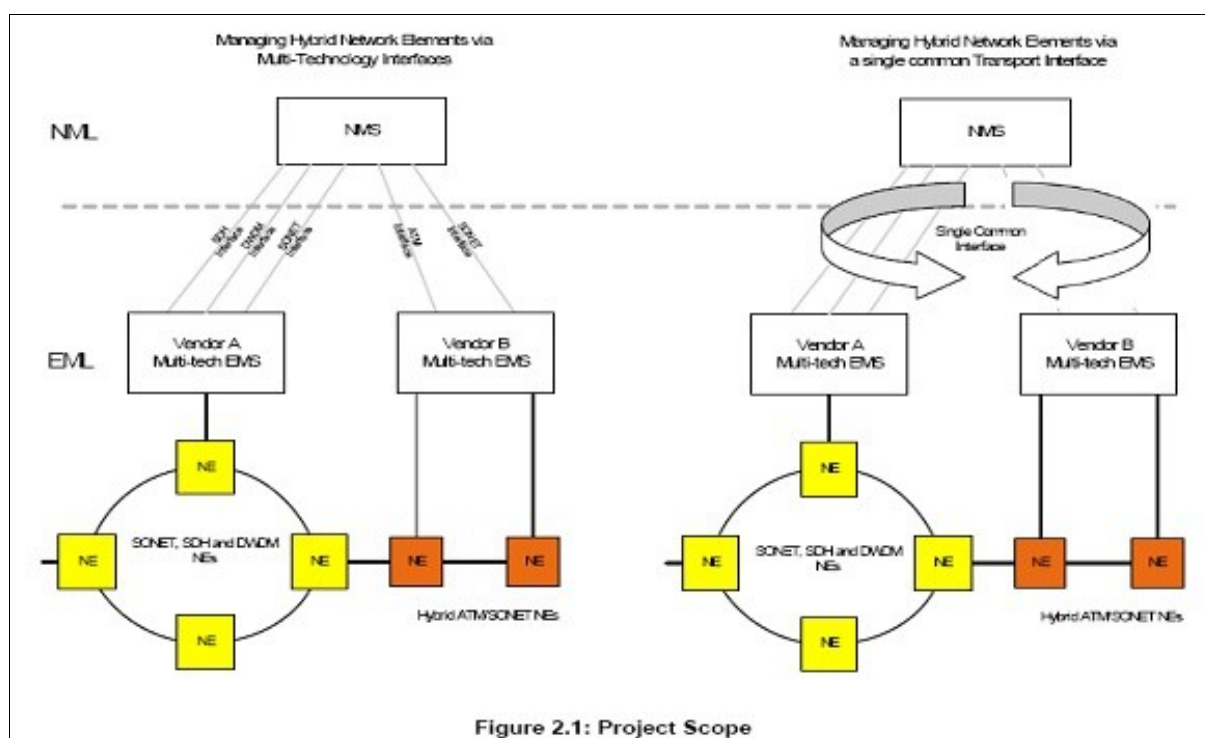


Figura 6: Visão Geral do MTNM

Fonte: (TMFORUM, MTNM, 2010)

A Figura 6 compara o gerenciamento via múltiplas interfaces, uma para cada fabricante (diagrama a esquerda), com o gerenciamento via uma interface comum MTNM (diagrama da direita).

Além disso, o documento declara que a motivação para tal especificação é que os provedores de serviço de telecomunicações estão sempre

pressionados pela dinâmica do mercado, que exige novos serviços, agilidade em sua entrega e preços competitivos. Para atingir esses objetivos, as modernas redes de transporte são multi tecnologias e multi fabricantes. Sua integração vai além da compatibilidade técnica entre equipamentos. O Mercado demanda a capacidade de integração da Gerência de Elemento de Rede com Sistemas de Gerenciamento de Rede, proporcionando funções vitais como: inventário, provisionamento e monitoramento de desempenho. O MTNM deve estar alinhado com os processos de negócio da operadora, conforme o *Telecommunications Operation Map (TOM)* e *enhanced TOM (eTOM)* (TMFORUM, **eTOM**, 2010). O Gerenciamento de Rede deve ser aberto e não depender de características específicas de um ou poucos fabricantes. Os conceitos e propostas foram pensados de forma a aproveitar iniciativas menos abrangentes como as dos organismos: NSIF, ATMForum, OIF, SDLForum, etc; além de recomendações do ITU, tais como: G.805 e G.872 (TMFORUM, **MTNM**, 2010).

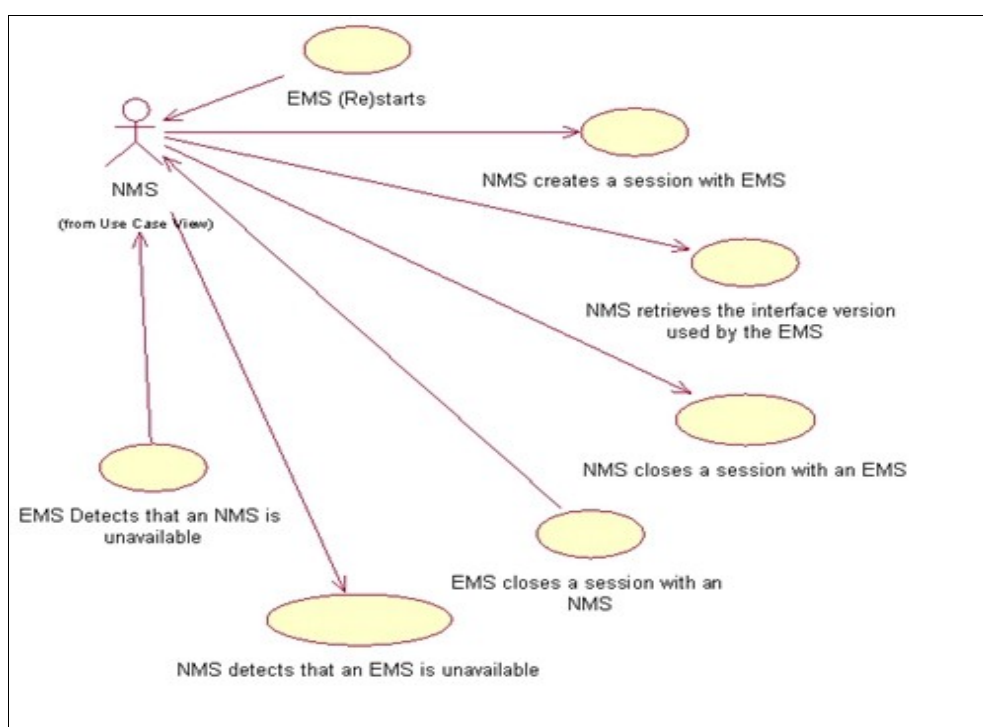


Figura 7: Diagrama de Caso de Uso TMF 608

Fonte: (TMFORUM, **MTNM**, 2010)

Existem requisitos estruturais para a interface Multi Tecnologia NML-EML, que foram especificados em termos de entidades (objetos) que devem ser

visíveis (acessíveis) através dessa interface e suas operações. Alguns desses objetos possuem um conjunto de características (atributos) comuns. Toda essa especificação fica associada um conjunto de requisitos formais do domínio de Gerencia de Redes Multi Tecnologia, permitindo rastreabilidade facilidade verificação de compatibilidade.

- **TMF 608 – MTNM Information Agreement:** é o documento que especifica os diagramas de Caso de Uso e Diagramas de Classe (representados em *Unified Modeling Language* - UML), conforme Figura 7, e sua relação com os requisitos propostos pelo documento TMF 513.
- **TMF 814 – MTNM Interfaces (IDL):** trata-se do documento que declara as interfaces (contratos) de interação NML-EML. Ele propõe a padronização da interação entre *Operating Systems* da NML e *Operating Systems* da EML. A declaração é feita através da *Interface Description Language* (IDL) CORBA.

2.6.6 TMForum Shared Information/Data (SID)

É a iniciativa do TMForum, similar ao CIM do DMTF, que visa especificar os modelos de dados que suportam a integração de suas múltiplas iniciativas. Trata-se também de uma descrição UML dos processos e dados relacionados à Gerência de Telecomunicações (TMFORUM, **SID**, 2010).

CIM e SID têm tanto em comum que em 2007, uma iniciativa conjunta foi feita para compatibilizar essas duas visões, aumentando sua área de interseção e reduzindo esforços

2.7 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

O presente capítulo resumiu os padrões, protocolos e tecnologias amplamente descritos pela literatura clássica sobre o tema, não só para lastrear a discussão promovida nos capítulos subsequentes, mas para ressaltar a distância entre o que se tem como pratica comum e o que se deseja ter quando se fala no Autogerenciamento (abordado no Capítulo 3).

Quando se observa as iniciativas da Gerência OSI e da Gerência Internet, fica claro que as principais contribuições são: formalizar os problemas fundamentais da Gerência de Redes e estabelecer uma arquitetura de instrumentação para suas ações e processos. Os clássicos protocolos de gerenciamento, tais como o SNMP, promovem um mecanismo robusto e maduro para o transporte de dados de gerência, independente do significado e utilidade desses dados.

Posteriormente, iniciativas como TOM/eTOM apontaram para a preocupação com os processos e ações que devem manter a operação e a qualidade dos serviços de rede. Ao elencar grandes áreas de interesse e respectivos processos de operação, esses chamados *frameworks* de gestão de serviços descrevem os fundamentos das ações de gerência que devem ocorrer em uma rede.

Com a formalização de processos e ações, surge o interesse e a necessidade de se explorar melhor os dados de gerência. Dentro desse contexto fica evidente o problema da interoperabilidade (inicialmente de dados) entre protocolos, ferramentas e sistemas de gerência, uma vez que se demandavam cada vez mais a integração desses. Isso pode ser constatado pelas recentes iniciativas de criação de modelos comuns de informação, tais como o DMTF CIM e o TMForum SID.

Apesar da evolução conceitual e tecnológica constatada na Gerência de Redes, todas as iniciativas consideram o ser humano como elemento indispensável ao ecossistema de gerência. Esse elemento humano é quem interpreta as informações e as traduz para as ações necessárias, criando e mantendo os processos de integração e automatização. Mesmo com a sugestão de modelos de dados comuns (padronizados), as técnicas e ferramentas da Gerência de Redes não estão preparadas para um alto grau de autonomia, interoperabilidade e reusabilidade, conforme preconiza o Autogerenciamento.

3 O AUTOGERENCIAMENTO DE REDES

3.1 APRESENTAÇÃO DO CAPÍTULO

O objetivo deste capítulo é mostrar a linha de evolução dos tradicionais padrões e ferramentas de gerência de redes em direção ao conceito de sistemas Autogerenciados. Durante seu desenvolvimento, são apresentadas algumas contribuições que modificaram a filosofia do gerenciamento de redes. Também é evidenciado como o estado da arte na Gerência de Redes está intimamente ligado à Computação Autônoma, associada ao campo da Inteligência Artificial.

3.2 A BUSCA PELA AUTONOMIA DOS SISTEMAS DE GERÊNCIA DE REDES

Observando-se os padrões de Gerência de Redes apresentados no capítulo anterior, é possível notar que eles estabeleceram mecanismos claros de coleta e transporte de dados de gerência. Entretanto, a aglutinação, interpretação e inferência sobre esse conjunto de dados costuma ser uma prerrogativa humana. Pode-se dizer que os padrões de Gerência de Redes OSI e Internet estabeleceram o **Nível de Instrumentação** (os instrumentos básicos) do processo de gerenciamento. Conforme esses padrões foram se consolidando como alicerces da troca de informações entre entidades de gerenciamento de redes, os pesquisadores da área passaram a voltar suas atenções para outras lacunas como, por exemplo, a redução do esforço humano na operação da rede e a busca por sistemas de gerência cada vez mais autônomos.

3.2.1 Gerência Por Delegação

Goldszmidt, Yemini e S. Yemini (1991) apresentaram uma proposta chamada de Gerência por Delegação (*Management By Delagation*), onde os Agentes (anteriormente usados apenas para fornecer os dados de gerência) teriam maior

responsabilidade no processo. Posteriormente Goldszmidt e Yemini (1995) refinaram sua proposta abordando a questão da hierarquia de agentes que dividiriam as tarefas de gerenciamento através da delegação de responsabilidade. A grande contribuição dessa abordagem foi a apresentação do conceito de distribuição autônoma de tarefas a partir de macro objetivos. Em outras palavras, *Management By Delegation* possibilita a construção de sistemas que, através de ordens de alto nível, possam efetuar a subdivisão de tarefas entre suas entidades componentes, com a mínima necessidade de intervenção humana.

A proposta de Goldszmidt e Yemini abriu caminho para dois outros importantes paradigmas de Gerência de Redes: *Policy-based Network Management* e *Active Networks*, ambos comentados com mais detalhes nas seções seguintes.

3.2.2 . Gerência de Redes Baseada em Políticas (Policy-based Network Management – PBNM)

Conforme Boutaba e Xiao (2002), o conjunto de técnicas reunidas sob o termo *Policy-based Network Management* (PBNM) forma uma proposta de Gerência de Redes derivada das metodologias de Gestão Empresarial. Nessa proposta as políticas e metas da corporação (ou da rede) são utilizadas como base para a configuração de restrições e modelo de utilização de recursos e serviços da rede. Essa fusão de Gestão Empresarial e Gerência de Redes teve início na década de 1990, como pode ser observado nos trabalhos de: Moffett J. e Sloman M. (1993, apud) e Koch, Kramer e Rohde (1995). O grande motivador do surgimento do PBNM foi a aplicação de regras de QoS para serviços de uma rede, conforme cita Boutaba e Xiao (2002). De certa forma, PBNM tem afinidade com a filosofia proposta pelo *Management By Delegation*, uma vez que ambas possuem a divisão de tarefas como pontos relevantes do processo.

O trabalho de Changkun (2000) apresenta um panorama bastante didático dos desafios e oportunidades do PBNM, ilustrando uma arquitetura clássica, apresentada na Figura 8, onde as Políticas são propostas, distribuídas para os Pontos de Decisão de Política (*Policy Decision Point* - PDP) e depois aplicadas aos recursos da rede através dos Pontos de Imposição de Política (*Policy Enforcement*

Point – PEP). Nessa arquitetura também são apresentados componentes para criar, armazenar e atualizar políticas.

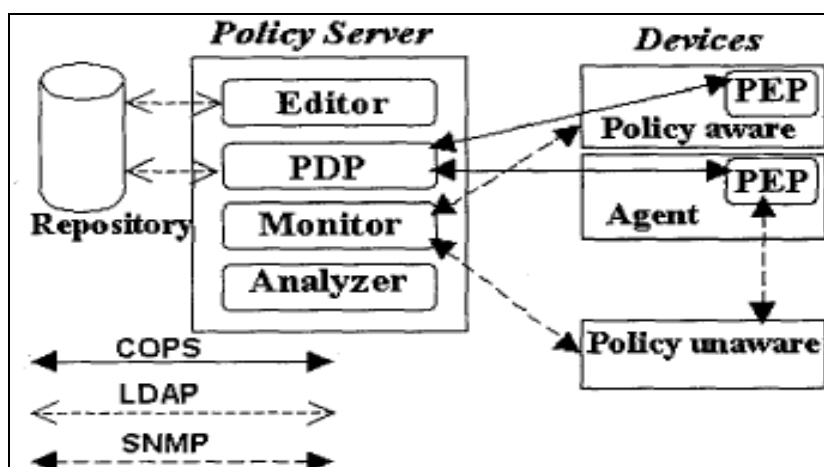


Figura 8: Arquitetura Didática de um Sistema PBNM

Fonte: Changkun (2000)

Alguns pontos negativos também foram apontados por Changkun (2000):

- Falta de padrões para assegurar a maturidade da tecnologia;
- Dificuldade de se prever inconsistências ou conflitos entre políticas que afetem os mesmos recursos;
- Inexistência de um simulador baseado em políticas para se testar o comportamento da rede após a aplicação de um novo grupo de políticas;
- As políticas são escritas em linguagens proprietárias e não existe interoperabilidade entre fabricantes;

Nos últimos anos, observa-se que a PBNM tem sido alvo de um razoável volume de trabalhos (STRASSNER, 2002), (CHADHA, 2004), (STRASSNER et al., 2008), (DAVY; JENNINGS; STRASSNER, 2008) e (DAVY; JENNINGS; STRASSNER, 2009). Um marco na evolução dessa tecnologia foi a publicação, pelo IETF, das RFCs 2748 - *The Common Open Policy Service Protocol (COPS)* e 2753 - *A Framework for Policy-based Admission Control*. Conjuntamente os documentos definem a arquitetura que abrange o Servidor de Políticas – PDP e os Clientes de Imposição de Políticas – PEP, bem como o protocolo de aplicação entre eles. Observa-se que o grande motivador desses dois documentos ainda é o controle de admissão e qualidade de serviço em redes Internet.

Chadha (2004) destaca a capacidade de um sistema PBNM fechar o ciclo monitoramento - aplicação de política, remetendo à autonomia baseada na teoria de controle.

Strassner (2002) apontou as vantagens do uso da Gerência de Redes Baseada em Políticas para uma organização. Posteriormente o trabalho evoluiu para questões mais objetivas, como em Strassner e outros (2008), que se dedica aos aspectos relacionados à linguagem de construção de políticas, e Davy, Jennings e Strassner (2008) e (2009), que investiga a equalização de termos e modelos de dados para a redução de conflitos entre políticas.

Nobre e Granville (2009) apontam soluções para a distribuição do controle das políticas, enfatizando a resolução distribuída de conflitos.

Basile, Lioy e Vallini (2010) apresentam uma ferramenta para a construção de Políticas de Gerência de Segurança que trate os dispositivos de segurança de uma maneira holística e diminua os esforços e riscos de falha humana nas configurações baseadas em linguagens proprietárias de dispositivos.

O gerenciamento através da abordagem *Policy-based Network Management* é um assunto bastante atual e vem sendo utilizado como parte das propostas de gerenciamento autônomo e inteligente, como será mostrado nas seções seguintes.

3.2.3 Os Sistemas Baseados em Conhecimento na Gerência de Redes

Os sistemas baseados em conhecimento são aqueles onde a descrição do domínio do problema e as regras do agente humano especialista são parte integrante da solução (REZENDE et al., 2003). Eles passaram a ser aplicados para a automação de processos que exigiam reação imediata ou tratamento de um volume muito grande de informações *on-line*. O trabalho de Mansfield e outros (1992) demonstra a ideia de construção de uma base de conhecimento para a Gerência de Redes, partindo da MIB (*Management Information Base*). Mansfield e outros (1992) defendem a posição de que, se a MIB é o que o Gerente de Rede tem como

informação da rede, ela deve ser considerada como ponto de partida de uma Base de Conhecimento fazendo com que um sistema especialista seja capaz de sugerir as ações a serem tomadas.

Apel (1993) apresenta um sistema inteligente baseado em modelo (representação simbólica de um domínio) que emprega um motor de inferência para computar as ações demandadas pela Gerência de Falhas. Nessa mesma linha, Sreedhar, Hill e Stanley (2000) descrevem uma arquitetura mais refinada, contendo elementos não inteligentes (tais como o coletor de dados de gerência) apoiados por um sistema especialista de suporte a decisão.

Yongjian e Songyang (1999) demonstram a especialização de um sistema baseado em conhecimento para a tecnologia ATM. No trabalho, os autores investigam a arquitetura e as características necessárias para um sistema especialista abordar as áreas de gerência de desempenho e falhas de uma rede ATM

De maneira geral, as contribuições dadas nessa área poderiam ser embarcadas em plataformas OSS/BSS, cuja arquitetura, no início de sua utilização, era centralizada. Toda a lógica computacional dita inteligente residia em um ponto único (ou poucos pontos), o que demandava a coleta de dados e o envio de comandos para cada um dos elementos da rede.

Devido às críticas sobre a arquitetura centralizada das plataformas OSS/BSS, a comunidade de pesquisa também direcionou suas linhas de trabalho para a aplicação de técnicas de Inteligência Artificial Distribuída (IAD).

3.2.4 Os Sistemas Multiagente e Inteligência Artificial Distribuída na Gerência de Redes

Depois da proposição da Resolução Distribuída de Problemas, área da Inteligência Artificial que trata problemas cuja distribuição física ou lógica é um fator inerente, inaugurou-se a IAD (Inteligência Artificial Distribuída – década de 1970), que permanece evoluindo até a presente data (REZENDE et. al., 2003).

Com o fenômeno da Internet e o crescimento do uso dos sistemas de informação, o volume de tarefas humanas desempenhadas dentro do "mundo digital" cresceu consideravelmente. De fato, a imensidão de informações e ferramentas de comunicação derivados da evolução da teleinformática transformou profundamente a cultura humana, impondo uma velocidade muito maior nas interações e na tomada de decisão. Observando essa mudança e aproveitando a evolução das técnicas de distribuição de sistemas (já citadas neste trabalho), a comunidade científica apresentou uma nova abordagem para a construção de software. O uso de Agentes, provavelmente inspirados nos robôs e andróides da ficção científica, foi uma resposta dada aos desafios do mundo digital.

Segundo Russel e Norving (2003) "Um agente é tudo o que pode ser considerado capaz de perceber seu ambiente por meio de sensores e de agir sobre esse ambiente por intermédio de atuadores". Segundo Ferber e Gasser (1991, apud REZENDE, 2003), em sua definição mais ampla:

"Um agente é uma entidade real ou virtual, capaz de agir num ambiente, de se comunicar com outros agentes, que é movido por um conjunto de inclinações (sejam objetivos individuais a atingir ou função de satisfação a otimizar), que possui recursos próprios, que é capaz de perceber o ambiente (de modo limitado), que dispõe (eventualmente) de uma representação parcial desse ambiente, que possui competência e oferece serviços, que pode eventualmente se reproduzir e cujo comportamento tende a atingir seus objetivos utilizando as competências e os recursos que dispõe e levando em conta os resultados de suas funções de percepção e comunicação, bem como suas representações internas".

Em ambas as visões, o paradigma de agentes é uma consolidação das técnicas de IA, onde o foco é a construção de uma entidade ou de uma organização de entidades chamadas, respectivamente, de agente e agência. Woodridge e Jennings (1995), em seu artigo *Intelligent Agents: Theory and Practice*, resumiram a longa jornada, iniciada por Hewitt (1977, apud. NWANA, 1996), apresentando os principais conceitos que fundamentam a teoria de agentes. Nwana (1996), em seu artigo, *Software Agents: An Overview*, abordou com mais clareza a taxonomia dos agentes, explorando as habilidades e características de cada classe de agente.

A ideia de um software baseado em múltiplos agentes, que com suas características individuais poderiam colaborar na busca de seus objetivos, foi a justificativa para o estabelecimento do conceito de Sistemas Multiagente (MAS), mais tarde chamados de Agências. Os Sistemas Multiagente foram tema de inúmeras propostas e

contribuições, em diversas áreas, passando a constituir uma solução amplamente aceita para a construção de softwares que demandem distribuição física ou lógica, interação com seres humanos e múltiplas frentes de atuação, com tomada de decisão distribuída. O amadurecimento dessa tecnologia levou à iniciativas como a da *Foundation for Intelligent Physical Agents* (FIPA) (FIPA, 2010), cujo objetivo é criar padrões de construção e interoperabilidade de agentes.

Como um típico problema distribuído, a Gerência de Redes é uma das disciplinas que mais se aproveitaram do paradigma de orientação a agentes. Vislumbrados por Goldszmidt e Yemini para a Gerência de Redes, a formalização e amadurecimento dos agentes de software deram suporte ou viabilizaram diversas propostas, como a de Post, Chien-Chung e Wei (1996), que apontam as vantagens do paradigma de sistemas multiagentes para o gerenciamento descentralizado de grandes redes.

3.2.4.1 Agentes Móveis

Os agentes com capacidade de se transportar entre hospedeiros, mantendo a memória de seus estados anteriores, foram definidos formalmente por Nwana (1996) como Agentes Móveis. Porém antes dessa definição formal, Appleby e Steward (1994) apresentou sua visão sobre as grandes possibilidades desse novo paradigma para a Gerência de Redes. Posteriormente, Baldi, Gai e Picco (1997) exploraram a versatilidade do que chamavam de código móvel em aplicações de Gerência de Redes.

Covaci, Tianning e Busse (1997), apresentam um exemplo dentre as diversas propostas do uso da tecnologia JAVA para a criação da infraestrutura necessária para a construção de plataformas de agentes móveis.

Bieszczad, Pagurek e White (1998) investigam mais a fundo o uso de agente móveis relacionados às ações mais objetivas da Gerência de Redes, tais como o Inventário e seu processo de descoberta automática através de agentes móveis.

O paradigma de Agentes Móveis surgiu como resposta ao desafio de gerenciamento de grandes redes, onde existe uma significativa quantidade de equipamentos e

interconexões. As soluções de distribuições de gerenciamento apresentadas até aquele momento suscitavam dúvidas quanto a sua eficiência e flexibilidade quando aplicadas ao cenário citado anteriormente. A flexibilidade e o dinamismo apresentados por essa abordagem foram, juntamente com a proposta de *Management By Delegation*, a justificativa para a criação do conceito conhecido como *Active Networks* (cujo principal objetivo é a construção de equipamentos de rede capazes de abrigar e executar código referente a composição e gerenciamento de serviços). Outras informações sobre *Active Networks* serão dadas posteriormente neste capítulo.

Ainda hoje, a capacidade de descentralização da coleta de informações é um assunto de interesse da comunidade de Gerência de Redes, como pode ser constatado no trabalho de Pugazendi e Duraiswamy (2009). Os autores mostram um sistema baseado em agentes móveis que coletam, localmente, dados de tráfego dos nós de uma rede, visando sua posterior caracterização e simulação remota.

3.2.4.2 Agentes Inteligentes

A adição de habilidades cada vez mais sofisticadas aos agentes é uma vertente ainda em exploração. A aplicação de consolidadas técnicas da IA, tais como: árvores de decisão, algoritmos de busca, técnicas de otimização, teorias probabilísticas e Lógica *Fuzzy*, são ideias que, em maior ou menor escala, permeiam a discussão sobre a eficiência de funcionamento dos atuais agentes da gerência de redes.

Uma das muitas contribuições nessa vertente é a de Ndousse (1997), que propõe uma arquitetura de agentes inteligentes baseados em Lógica *Fuzzy*. Em seu trabalho o autor especifica o comportamento local (reativo e baseado na lógica *Fuzzy*) e o comportamento externo (advindo da colaboração interagentes) dos agentes de gerência de rede. Outra contribuição é a de Papavassiliou e outros (2001), que apresentam um sistema multiagente que faz uso de um algoritmo genético para a alocação de recursos dentro do processo de provisionamento de

serviços de telecomunicações. Os agentes são responsáveis pela coleta de informação que alimenta o algoritmo genético.

A maioria das contribuições na área de agentes inteligentes busca o compromisso entre a eficácia e o desempenho. Nota-se a predileção pelas técnicas de Inteligência Artificial que proporcionam reação rápida a eventos, mesmo que a eficácia não seja maior do que em outras abordagens. Isso se justifica porque as redes estão cada vez mais velozes e o número de elementos de rede cresce em larga escala, exigindo que decisões menos complexas sejam tomadas imediatamente, sem a necessidade de grandes deliberações.

3.2.4.3 Colônias de Agentes Mínimos

Uma abordagem parcialmente oposta à anteriormente descrita foi a de adoção dos modelos de agência baseadas em colônias de insetos, vermes e outros animais primitivos (por exemplo, as colônias de formigas). A principal ideia é dotar os indivíduos com conhecimentos mínimos, mas com uma grande capacidade de colaboração e movimentação. Dessas habilidades espera-se que surja um comportamento grupal que leve à solução desejada. Di Caro e Dorigo (1998) e Nargesian e Nazemi (2003) apresentaram a propostas de aplicação de sistemas multiagente baseados em colônias de formigas. O primeiro trabalho aborda o problema de roteamento adaptativo em uma rede. O segundo propõe um *framework* para a criação de agentes mínimos dotados de um certo grau de inteligência.

Na base dessa abordagem existe a observação de mecanismos biológicos que poderiam servir de exemplo para a solução de problemas aplicados. Essa visão leva à indagação: poderia existir um ecossistema de Gerência de Redes onde diferentes agências, cada qual com suas características e objetivos, pudessem conviver em equilíbrio, praticando ações autônomas e independentes? A resposta a essa indagação parece ter surgido com a ideia dos organismos computacionais autônomos, que será mais explorada nas seções seguintes.

3.2.5 *Active Networks*

Segundo Tennenhouse e outros (1997) *Active Networks* são redes cujos nós (roteadores, *switches*, etc.) são capazes de executar programas sob medida que alterem o conteúdo dos pacotes que passam por eles. O termo *Active* (Ativo) vem do fato do equipamento poder modificar o conteúdo do tráfego, contrastando com os equipamentos tradicionais que apenas reagem a esse conteúdo. Tennenhouse e outros (1997) postulam que os programas podem ser aplicados com base nas necessidades do usuários/cliente ou por interesse de uma ou mais aplicações (por exemplo a Gerência de Redes). Os elementos ativos da rede podem conviver com elementos tradicionais, desde que os programas enviados aos elementos ativos não exijam uma mudança completa nos comportamentos de todos os elementos da rede.

Tennenhouse e Wetherall (2002) também explicam as duas abordagens para o envio de programas aos elementos ativos da rede:

- *Programmable Networks* – onde um canal exclusivo é utilizado para a troca de mensagens de carga e controle dos programas;
- *Capsules* – onde os programas e respectivos controles são enviados nos mesmos canais de tráfego comum, porém diferenciados por um protocolo específico que define uma cápsula de controle onde os programas são transferidos.

Active Networks é uma abordagem que descende das propostas de descentralização do gerenciamento e da mobilidade de código. Essa ligação pode ser observada na proposta de Chih-Lin (2000), que substitui as abordagens de *Programmable Network* e *Capsules* por programas cujo bloco básico de construção é o agente móvel.

Embora *Active Networks* pareça uma iniciativa bastante promissora, Brunner (2000) e Tennenhouse e Wetherall (2002) apontam relevantes problemas a serem resolvidos para que essa tecnologia se torne prática:

- Segurança – a inserção de programas maliciosos, a autorização para modificar parâmetros do ambiente e todas as questões relacionadas à segurança da informação;
- Desempenho – desempenho dos elementos programáveis/ativos, uma vez que terão que lidar com programas de diferentes tamanhos, graus de uso de recursos e impactos sobre o tráfego da rede;
- Ambiente – faltam padrões de desenvolvimento, transferência e execução dos programas em redes multi fabricantes e multi tecnologia;
- Conflito de Interesses dos Programas – os objetivos de um programa podem interferir nos objetivos de outros, causando uma instabilidade no ecossistema da rede ativa.

Essas questões levaram Brunner (2000) a propor que os elementos ativos (programáveis) de uma rede implementassem uma camada de virtualização capaz de separar os programas por usuário, aplicação ou domínio, estabelecendo regras para cada *Virtual Active Network* (VAN) (Rede Ativa Virtual).

Observa-se que o grau de inteligência dos agentes móveis ainda não é uma questão central na discussão do conceito de *Active Networks*. A mobilidade do agente ou do código parece ser a grande habilidade a ser explorada.

Moura e Garcia (2007) apresentaram uma contribuição denominada Agentes Mutáveis, onde a inteligência ou habilidade do agente pode ser carregada dinamicamente, minimizando a necessidade de código que um agente deve portar para lidar com ambientes e situações heterogêneas. Essa abordagem parece se encaixar na questão das *Active Networks*.

3.3 AS TÉCNICAS DE GESTÃO DA INFORMAÇÃO E DO CONHECIMENTO NA GERÊNCIA DE REDES

3.3.1 Técnicas de Exploração de Informações

Recentemente, as corporações descobriram que poderiam extrair mais informações de seus volumosos repositórios de dados. Seus relatórios poderiam ser cruzados para gerar novas visões das causas de seu desempenho, identificando aspectos e situações antes ocultadas pela ideia de divisão organizacional. A necessidade de recuperação, sumarização e gerenciamento de um grande volume de dados levou ao desenvolvimento de um campo de estudo chamado de Gerenciamento da Informação. Técnicas como *Data Mining*, *Business Intelligence* e Sistemas de Apoio à Decisão figuram entre os expoentes dessa área (BERTHOLD; HAND, 2003).

A Gerência de Redes é um campo fértil para aplicação das técnicas de Exploração da Informação. Basta se analisar a capacidade de geração de dados em cada um dos agentes de gerenciamento dos nós da rede. Assim, pode se afirmar que hoje se tem a disposição mais dados de gerência do que se consegue lidar, dificultando a geração de informações precisas e úteis.

Burn-Thornton, Garibaldi e Mahdi (1998) apresentam os principais termos e algoritmos de *Data Mining* e explicam seu potencial uso para extração de informações de gerência de desempenho de uma rede ATM. Ao final, os autores comparam os resultados desses algoritmos em um estudo de caso fictício, apontando as alternativas mais viáveis.

Kulkarni e outros (2006) mostram a ideia de um mecanismo de controle de congestionamento de uma rede, partindo dos dados de gerência sobre as filas e pacotes de cada elemento da rede. Em sua proposta, os autores sugerem um mecanismo de *Data Mining* para identificar a relação entre os elementos da rede (interconexão) através da análise de causa e efeito de episódios de congestionamento.

Nota-se que a maior parte dos trabalhos dessa área usa como justificativa para a adoção dessa abordagem a ineficiência dos sistemas baseados em conhecimento

(ou baseados em modelo) ao lidarem com o dinamismo do problema de gerenciamento de uma grande rede.

Entretanto, Wang, Zhang e Li (2009) apresentam uma formulação de *Data Mining* apoiada não só por identificação de padrões, mas também por restrições topológicas. Essa abordagem reduz o espaço de busca e torna mais eficiente o processo de identificação de padrões. Trata-se de um indício de contradição da crítica sobre a ineficiência dos sistemas baseados em conhecimento, pois um modelo de restrição (modelo) é empregado para apoiar a busca de informações.

Muitas outras contribuições têm sido dadas nessa área, especialmente para o Problema de Correlação de Alarmes. Recentemente, os mecanismos de reconhecimento de padrões utilizados no *Data Mining* estão sendo sugeridos como motores de aprendizado para agentes dos sistemas autogerenciados.

3.3.2 Ontologias na Gerência de Redes

Ontologia, disciplina da filosofia e cognição concernente ao estudo da natureza do ser e seu relacionamento com outros seres (AURÉLIO, 1986), passou a servir de denominação para uma abordagem sistemática de descrição de bases de conhecimento, dentro da Ciência da Computação.

Uma das mais conhecidas definições de Ontologia é a de Gruber (1993), que diz: "Ontologia é uma especificação explícita de uma conceitualização". Em outras palavras, é a formalização de um domínio de discurso, através de termos e conceitos explícitos, previamente definidos.

Dentro da Ciência da Computação, existe a preocupação adicional de se produzir Ontologias que sejam capazes de serem lidas, interpretadas e utilizadas por máquinas. Essas características requerem a construção de Ontologias através de linguagens que sejam tratáveis, decidíveis e que permitam a computação dentro de períodos de tempo viáveis (GUIZZARDI, 2005).

Gašević, Djurić e Devedžić (2006) afirmam que o uso de Ontologia proporcionam um grande número de recursos para sistemas inteligentes, assim como para representação de conhecimento em geral. Seus recursos mais importantes são:

- **Vocabulário:** nomes para se referir aos termos de uma área, especificando-os formalmente, sem ambiguidade e semanticamente independente do leitor e do contexto;
- **Taxonomia:** hierarquia de conceitos; e
- **Compartilhamento e reúso** de conhecimento.

Ao contrário de uma classificação taxonômica convencional, uma Ontologia estabelece não só uma relação de hierarquia entre conceitos ou objetos, mas também uma semântica formal para descrevê-los em termos de outros conceitos ou predicados fundamentais.

Todas essas características tornam a Ontologia um sinônimo moderno para o conceito de Base Formal de Conhecimento. O Engenheiro de Ontologia é o responsável por selecionar as técnicas mais adequadas para a representação, manutenção e aquisição de conhecimento para a construção de uma Ontologia (GUARINO, 1997 e 1998). Nota-se que o uso da Ontologia pode proporcionar um avanço significativo na construção de sistemas inteligentes (CLANCY, 1993; apud GUIZZARDI, 2005), uma vez que muda a visão da construção das bases de conhecimento. Clancy (1993, apud GUIZZARDI, 2005) defende que uma base de conhecimento não deve conter apenas o espelho da “mente” do especialista no domínio (regras dos sistemas especialistas), mas deve descrever, primordialmente, o domínio (o mundo) sobre o qual esse especialista atua. Por todos esses motivos, Ontologia têm sido empregada em diversas áreas da Computação, incluindo a Gerência de Redes.

3.3.2.1 Iniciativas Primitivas

Mesmo sem utilizar a denominação Ontologia, percebe-se que foram feitos vários esforços de criação de uma “Linguagem Comum para a Gerência de Redes”. Esses

esforços nasceram do próprio vocabulário descrito nas normas e recomendações de gerência, tais como a série de recomendação X.200 e X.700, além do padrão IETF SNMP. A contribuição de Wanier e outros (1988) apresenta uma Linguagem Específica de Domínio para oferecer uma *Application Program Interface* (API) que facilitasse o trabalho dos programadores de aplicações de Gerência de Redes. Os autores sugeriram a criação de uma Linguagem de Gerência de Rede - *Network Management Language* (NML) - baseada em uma extensão da *Standard Query Language* (SQL). Essa abordagem exige um mapeamento semântico entre os elementos funcionais de cada padrão de gerenciamento de redes, na época CMIP e SNMP. Entretanto, dificuldades foram encontradas em função dos diferentes paradigmas confrontados, pois tentava-se comparar a orientação a objetos no CMIP com a orientação a procedimentos no SNMP.

3.3.2.2 A Busca Por Vocabulários e Equivalências Semânticas

Os trabalhos de Vergara e outros (2003) e Villagra e outros (2003) foram uma das primeiras contribuições na direção da equalização semântica dos conceitos contidos nos modelos de gerenciamento de redes (SNMP, CMIP e CIM). Os autores mostram que essa tarefa de equalização de termos não é simples, pois alguns conceitos existem apenas em um ou alguns dos padrões estudados. Seria necessário criar uma “Camada de Significado” para os conceitos da gerência de redes, evitando a necessidade de se produzir conversões, par a par, entre os conceitos de diferentes padrões. No artigo, o esquema de uma primitiva ontologia de gerência de redes é apresentado, apontando para a direção que deveria ser seguida nas próximas contribuições. Embora a abordagem tenha se mostrado bastante promissora, o foco dos autores ainda era a compatibilidade dos tipos de dados e operações de gerência (Get, Set, etc.). Sendo esse um dos primeiros passos nessa direção, o trabalho não abordou a discussão sobre o domínio Rede de Telecomunicações ou Funções de Gerência – FCAPS.

3.3.2.3 A Ontologia como Base de Conhecimento Para os Sistemas Inteligentes na Gerência de Redes

Gaglio e outros (2004) apresentaram um pequeno fragmento de uma ontologia para gerência de redes, onde, mais uma vez, as operações de *GET*, *SET* e *Notify* são o foco da modelagem. Entretanto, são estabelecidas algumas primitivas de relacionamento (conectividade) entre os objetos gerenciados. A ontologia proposta é modelada diretamente através da linguagem *Ontology Web Language* (OWL) (HITZLER et al., 2010).

Em De Paola e outros (2005) a ontologia proposta anteriormente por Gaglio e outros (2004) foi utilizada como base para um sistema de gerência multiagente, baseado em conhecimento. Esse sistema efetua operações de um especialista humano, utilizando para tal o método de IA conhecido como Cálculo Proposicional. Essa técnica demanda um motor de inferência de Lógica de Primeira Ordem. Sua maior contribuição é mostrar a aplicação de Ontologia como base dos sistemas inteligentes na Gerência de Redes.

Wong, Parameswaran e Strassner (2005) mostram o uso de uma ontologia de compatibilização de conceitos para mapear os comandos dos roteadores Cisco e Nortel para o protocolo de roteamento dinâmico *Open Shortest Path First* (OSPF). Sobre essa ontologia é aplicado um motor de inferência capaz de identificar os comandos, em cada roteador, que implementam os conceitos desejados pelo Gerente de Rede.

Xu e Xiao (2006) apresentam uma ontologia modelada e implementada em OWL, *Semantic Web Rule Language* (SWRL) (W3C. **SWRL: A SEMANTIC WEB RULE LANGUAGE COMBINING OWL AND RULEML**, 2010) e *Semantic Markup for Web Services* (OWL-S) (W3C. **OWL-S: SEMANTIC MARKUP FOR WEB SERVICES**, 2010) para descrever ações de configuração e testes de uma interface de comunicação *Internet Protocol* (IP). É uma contribuição na direção do uso de tecnologias *Web Semantic* para Gerência de Redes. Mais uma vez, trata-se da construção de um modelo muito restrito, contemplando apenas as tarefas associadas ao gerenciamento de uma interface de comunicação.

No trabalho de dos Santos e Garcia (2007) é apresentada uma proposta de ontologia para suportar o processo de descoberta de elementos de uma rede. Agentes de software são utilizados para buscar os elementos da rede que, quando encontrados, são descritos através de uma ontologia computacional. Trata-se de uma iniciativa na direção de se transformar os tradicionais modelos de dados da gerência de redes em verdadeiras ontologias.

3.3.2.4 Ontologias sobre Redes

São restritas as contribuições que tomam a rede como a base do domínio de Gerência de Redes. Embora pareça óbvio que o gerenciamento de redes demande informações sobre a rede, são escassas as propostas de sistema de gerenciamento que tenham a ontologia de redes como base de seu funcionamento. Como pode se observar nos trabalhos referenciados nas seções anteriores, o alvo das contribuições tem sido equalizar os tipos de dados, as ações e regras de gerenciamento.

Uma proposta de ontologia para a descrição de redes de transporte é a de van der Ham, e outros (2007). A *Network Description Language* (NDL) foi desenvolvida na linguagem *Resource Description Language* (RDF) e *Resource Description Language Schema* (RDFS) (linguagens W3C para descrição primária de conceitos – recursos - e suas relações) e é capaz de modelar alguns dos principais conceitos da recomendação ITU-T G.805 (responsável pela descrição da arquitetura abstrata de uma rede de transporte). A NDL ataca os problemas de interoperabilidade de conceitos e modelos de descrição de redes, permitindo a construção de aplicações para roteamento inter-domínio de operação.

Seu grau de desenvolvimento permite a criação de ferramentas de apoio à descrição e localização de recursos da rede. Entretanto, conforme explicado pelos próprios autores, ela não se propõe a representar fidedignamente o modelo proposto pela ITU-T G.805. Além disso, sua representação através de RDF e RDFS lhe impõe restrições de descrição, impedindo inferências lógicas mais sofisticadas. Isso implica em sua inadequação para determinadas aplicações. Por exemplo, o uso de motores

de inferência e a extensão de regras de lógica de primeira ordem ficam bastante limitados. Como grande contribuição, a NDL apresenta sua capacidade de estabelecer um vocabulário comum.

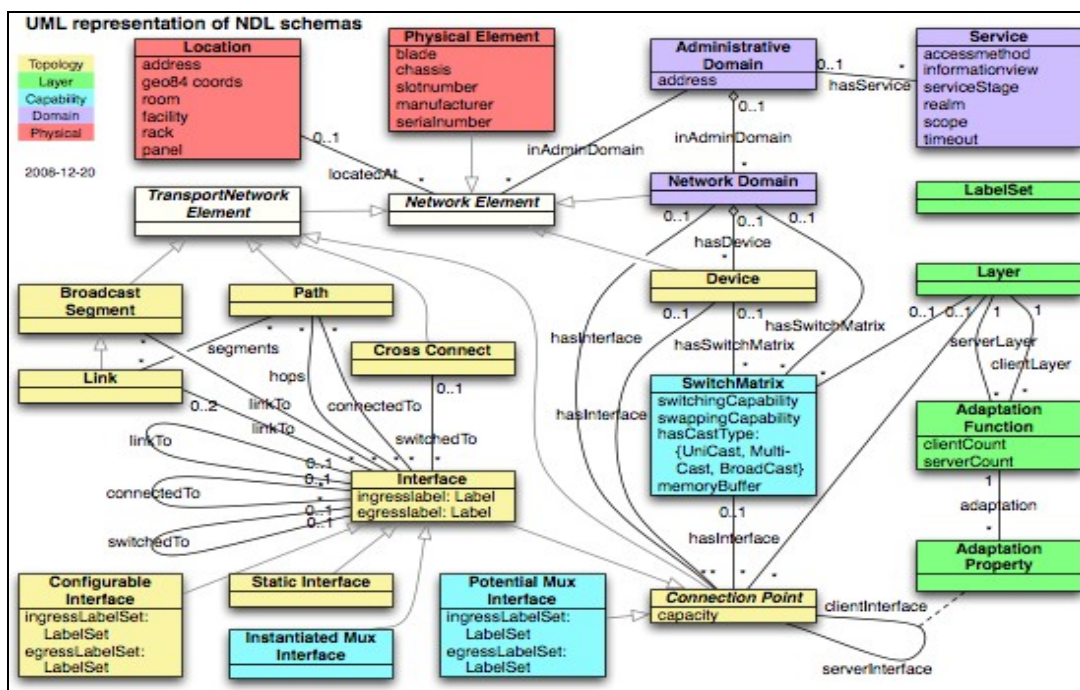


Figura 9: Visão Geral do Esquema da Ontologia NDL – UML

Fonte: (UNIVERSITY VAN AMSTERDAM, 2010)

A Figura 9 mostra a visão geral dos conceitos compreendidos na NDL, através de um diagrama UML. Cores são utilizadas para diferenciar conceitos: físicos (rosa), topológicos (amarelo), os associados ao domínio de operação (roxo), os associados às camadas tecnológicas (verde) ou conceitos de integração e os de compatibilidade entre os demais (azul). Observando o quadrante superior esquerdo da Figura 9 é possível notar que existe um conceito chamado *Network Element*. Ele é uma especialização (herança) do conceito *Physical Element*, está localizado em algum lugar descrito pelo conceito *Location* e pertence a algum *Administrative Domain* (domínio administrativo).

Entretanto, a NDL mistura conceitos abstratos e físicos, confundindo sinônimos (equalização de termos) com complementos (especializações) e relações (associações entre conceitos). A Figura 9 mostra um exemplo do problema descrito, quando se observa (no quadrante inferior direito) o conceito de *Connection Point*

(conceito abstrato da ITU-T G.805) como uma especialização de *Interface* (conceito topológico do senso comum).

3.4 AUTOGERENCIAMENTO (*SELF-MANAGEMENT* / *AUTONOMIC MANAGEMENT*)

Os paradigmas e técnicas apresentados nas seções anteriores deste capítulo evidenciam a busca por soluções que pudessem melhorar o grau de autonomia, adaptabilidade e interoperabilidade das ferramentas e sistemas de gerenciamento de redes. Os diversos rótulos utilizados para classificar essas iniciativas de pesquisa e desenvolvimento não eram capazes de expressar o objetivo desejado.

3.4.1 Definição de Autogerenciamento

Finalmente, por volta de 2001, a Comunidade da Computação encontrou uma definição mais adequada para esse novo paradigma. Segundo Liu, Tsui e Wu (2001) e Tianfield (2003), os organismos computacionais autônomos, derivados da teoria de controle adaptativo e da inteligência artificial, são aqueles que possuem mecanismos autossuficientes para prover: autogoverno, autorregulação, autocorreção, auto-organização, autoescalamento, autoplanejamento, autogerenciamento, autoadministração, auto-otimização, automonitoramento, autoajuste, autossintonia, autoconfiguração, autodiagnóstico de falhas, autoproteção, autocura, autorrecuperação de desastres, autoaprendizado, autoconhecimento, autorrepresentação, autoevolução e autoavaliação de eficiência e risco. Essa filosofia, a ser perseguida no desenvolvimento de sistemas computacionais, ganhou o nome de *Autonomic Oriented Computing* (Computação Autônoma) (LIU; TSUI; WU, 2001).

O uso dessa filosofia para a Gerência de Redes ganhou força sob nome de Autogerenciamento (*Self-management*), onde os próprios elementos de rede poderiam se aclimatar a um ecossistema de gerenciamento, estabelecendo, autonomamente, seus níveis de funcionamento e colaboração com a vizinhança.

Cada indivíduo seria responsável por se automonitorar e controlar, mantendo o equilíbrio do ecossistema. O tema Autogerenciamento acabou por se tornar um grande “guarda-chuvas” para diversas abordagens que, de uma forma ou de outra, buscavam dar maior autonomia ao sistema de gerenciamento de redes.

Como um esforço de esclarecer os vetores de pesquisa por detrás do Autogerenciamento, Herrmann, Mühl e Geihs (2005) fazem um apanhado geral das contribuições dadas nessa área, descortinam as enormes fronteiras a serem exploradas. Os autores enfatizam os *gaps* existentes na área, apontando para o problema dos objetivos conflitantes entre os diferentes agentes que habitam o mesmo hospedeiro. Para ilustrar esse problema, os autores usam o exemplo de agentes que disputam a memória e o processador compartilhados. A otimização alcançada por um deles pode representar a minimização dos resultados do outro. Na tentativa de equilibrar o ecossistema, ambos tomariam ações que poderiam levar todo o sistema à instabilidade. O texto sugere algumas abordagens que parecem promissoras para a solução dos *gaps* apresentados, dentre elas, os mecanismos biológicos, em especial os do corpo humano. Desde então, os trabalhos dessa área são abreviados pelo termo *Autonomic Network Management* (Gerência Autônoma de Redes).

3.4.2 Principais Trabalhos no Campo do Autogerenciamento

Pela abrangência do tema, muitas são as contribuições oferecidas ao Autogerenciamento nos últimos anos. Em Al-Obasiat e Braun (2007) é apresentada uma arquitetura multicamada onde os recursos e serviços de uma rede são acomodados. Assim, agentes mínimos (uma colônia de agentes) trabalham monitorando e reagindo às alterações da rede, conforme elas ocorram. As ações tomadas sobre a rede derivam de um motor de regras baseadas na decomposição de políticas.

O uso de mecanismos de Autogerenciamento inspirados em modelos biológicos é o tema do trabalho de Balasubramaniam e outros (2007). Aproveitando seus trabalhos prévios sobre a gerência PBNM e fazendo uso de mecanismos de controle

inspirados na biologia, os autores propuseram um sistema capaz de reorganizar uma rede após a falha de alguns enlaces, a habilidade autônoma chamado de *Self-healing*.

O trabalho de Gogineni e outros (2010) se preocupa com a capacidade de autorrecuperação e auto-organização da infraestrutura básica de comunicação de informações de gerência. Em seu trabalho os autores defendem o emprego de modernas técnicas de segurança e tolerância a falhas (roteamento), observadas em outras áreas da tecnologia da informação e comunicação, para se garantir que os demais componentes do Plano de Gerencia continuem a operar.

Também é possível se observar um conflito entre as técnicas de planejamento e organização (longo prazo) e as técnicas de autorregulação através de laços locais (curto prazo). Uma contribuição que enfatiza a visão de organização e planejamento é a dada por Marzo e outros (2004), onde um Agente Planejador (ou similar) é o "maestro" da arquitetura, planejando as ações globais e informando aos agentes subordinados suas metas e escopo de atuação. São visões idênticas às das teorias de administração, que procuram hierarquizar os indivíduos dentro das organizações, estabelecendo níveis de poder e áreas de atuação. Esse dito "maestro" é uma peça fundamental para o funcionamento de longo prazo da agência.

Em contraposição ao exemplo do parágrafo anterior, e seguindo à risca o conceito de *Self-management*, percebe-se que a busca pela descentralização total do controle do gerenciamento é um desafio. Essa linha de ação de curto prazo pode ser vista na contribuição de Strassner (2006, 2008 e 2009), onde a estratégia *Policy-based Network Management* é empregada como forma de prover ações de curto prazo para os eventos da rede (embora a política deva ser definida anteriormente e, na maioria das vezes, por agentes humanos).

3.4.3 Ontologias e o Autogerenciamento

Uma série de contribuições e avanços foram feitos na direção do Autogerenciamento através do uso de Ontologia. Percebe-se em trabalhos como o Serrano, Serrat e Strassner (2007) e Serrano e outros (2008) que a tônica é utilizar as Ontologias para

descrever as Políticas (*Policy-based Network Management*) de gerenciamento de redes.

A descrição das Políticas e seu contexto de aplicação são alvo dos trabalhos de Hochstatter e outros (2008). Vê-se nesse trabalho a utilização do conceito *Context-Aware Applications*, onde o sistema se comporta de forma diferente conforme o contexto detectado (percebido).

Uzbek e outros (2008) apresentam sua nova visão de organização do conhecimento e as alterações causadas pelo amadurecimento da ideia de ontologias associadas a políticas em sua plataforma KaoS (reclamada pelos autores como uma das primeiras a inserir o conceito de ontologia para *Policy-based Network Management*). O trabalho não traz inovações na direção da automação, mas apresenta uma forma de minimizar a necessidade do conhecimento do usuário (criador das políticas) com relação às linguagens de implementação de ontologias (por exemplo, OWL).

Serrano, Strassner e Foghlu (2009) apresentam uma proposta de uma ontologia chamada *Ontology for Support and Management* (OSM), cujo objetivo é dotar as plataformas *Policy-based Network Management* de uma “Camada de Inferência”. A defesa dos autores é que essa ontologia poderia ser reutilizada pelas demais aplicações PBNM, uma vez que compreenderia características mais abrangentes do que as ontologias similares, conforme apresentado em um quadro comparativo. Essa é a primeira iniciativa do uso de ontologias em gerência de redes que menciona o reúso como aspecto relevante para o processo.

3.4.4 Algumas Considerações Sobre O Autogerenciamento

O uso de agentes na Gerência de Redes é amplamente aceito como uma das abordagens inerentes ao Autogerenciamento, tendo se tornado uma alternativa viável e vantajosa em relação ao antigo modelo centralizado. Entretanto, um ponto relevante para discussão de Autogerenciamento é a diferenciação dos antigos trabalhos e abordagens de Sistemas Baseados em Conhecimento, Sistemas multiagentes e Sistemas Inteligentes dos atuais Sistemas Autônomos.

Outra questão importante é que não existe uma discussão consistente sobre a responsabilidade das ações computacionais autônomas do autogerenciamento. Os testes, simulações e verificações sobre as ações tomadas, ou que se pretende tomar, ainda não entraram na discussão, mas representam um importante aspecto do tema. Os seres humanos, figura para a qual se pretende minimizar a participação no processo, são submetidos a procedimentos, normas e leis, pelos quais devem responder. Ainda não se observa propostas sobre a responsabilidade dos sistemas autônomos (mesmo que a través de seus criadores, operadores ou patrocinadores).

Por ser um paradigma muito recente, não existem referências suficientes que enfatizem o grau de autonomia possível de ser alcançado com o Autogerenciamento. Analisando a sugestão de Herrmann, Mühl e Geihs (2005), onde os mecanismos biológicos são um exemplo a ser seguido, nota-se que, em alguma escala, existe a necessidade de uma organização hierárquica capaz de orientar o macro ambiente. Conseqüentemente, o micro ambiente (cada agente e seus respectivos mecanismos) seria afetado pelas diretrizes do macro ambiente, o que leva à conclusão de que os aspectos de longo (planejamento) e curto (reação) prazos devem coexistir em uma sistema de Autogerenciamento. Como principal exemplo, tem-se o corpo humano, onde o cérebro é o coordenador geral do sistema, mas não administra diretamente as ações dos sistemas circulatório, cardíaco e intestinal, por exemplo. Para isso o corpo conta com laços locais de controle.

Samaan e Karmouch (2009) reeditaram o trabalho de Herrmann, Mühl e Geihs (2005), incluindo em sua visão de direções futuras as recentes contribuições para o Autogerenciamento. Em seu trabalho, Samaan e Karmouch (2009) pontuam que um dos maiores desafios da área é a dispersão das abordagens dos trabalhos apresentados. Também citam a falta de uma formulação clara do problema, impedindo a criação de blocos básicos para se construir um Sistema Autônomo de Gerência de Redes, os chamados *Autonomic Network Management System* (ANMS). Outra observação importante dos autores é que as abordagens de Agentes Móveis, *Active Networks* e *Policy-based Network Management* são formas de automação parcial (automação da implementação de regras e ações), uma vez que o ser humano continua assumindo um papel crucial no processo. Esse papel, ainda insubstituível, é o de desenvolver e atualizar as regras e ações de gerenciamento, conforme a rede vai se modificando. Samaan e Karmouch (2009) também defendem

que um componente indispensável de um ANMS é sua base de conhecimento sobre a rede e sobre a gerência de redes. Essa base de conhecimento, a *Network-knowledge-base System* (NKBS), deve ser capaz de compreender não só informações operacionais (como os dados monitorados em um elemento da rede), mas também os conceitos relevantes do domínio. Esses conceitos seriam responsáveis diretos (embora não exclusivamente) pela autonomia do sistema de Autogerenciamento.

Entende-se, por fim, que o grande diferencial do autogerenciamento é a diminuição extrema da intervenção humana no processo de gerenciamento, buscando-se a adaptação total do indivíduo (elemento do sistema gerenciado) ao seu ecossistema, logo que esse indivíduo é inserido nesse. Porém, existem horizontes amplos a serem explorados antes que o tema estabeleça suas melhores práticas.

3.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

É apresentado neste capítulo um conjunto de contribuições que permite concluir que a Inteligência Artificial vem oferecendo técnicas relevantes para a evolução da Gerência de Redes. O uso de Agentes Móveis e Inteligentes, a utilização de *Policy-based Network Management* e outras técnicas deram origem ao paradigma do Autogerenciamento, cujo objetivo principal é minimizar a ação humana no processo de Gerência de Redes. Trata-se de um campo em exploração, que está em sua infância.

Por outro lado, o Autogerenciamento vem utilizando a Ontologia (Ciência da Computação) como base para a proposição de sistemas mais flexíveis e autônomos. São visíveis as vantagens do uso da Ontologia para o estabelecimento de uma visão comum do domínio de Redes e de Gerência de Redes. Entretanto, os esforços de construção de ontologias para Gerência de Redes ainda estão muito voltados para a criação de vocabulários compartilhados sobre os protocolos de gerenciamento ou para descrever termos específicos das abordagens de gerenciamento, tais como PBNM.

A reutilização de conceitos e estratégias, bem como a interoperabilidade de sistemas não estão sendo atacados frontalmente. Toda a dita inteligência e autonomia ainda estão sendo modeladas de forma implícita e dispersa nas muitas iniciativas apresentadas. Essas características dificultam a criação do conceito de ecossistema, diminuindo, consideravelmente, o grau de autonomia e interoperabilidade das ferramentas, sistemas e entidades autônomas que compartilham as tarefas de gerenciamento de uma rede. Essa constatação é o principal motivador para o presente trabalho.

4 ONTOLOGIA E SEU SUPORTE AOS SERVIÇOS SEMÂNTICO DA GERÊNCIA DE REDES

4.1 APRESENTAÇÃO DO CAPÍTULO

O presente capítulo não se propõe a fazer uma ampla discussão sobre Ontologia e seu processo de desenvolvimento. Serão abordados aqui apenas os conceitos relevantes para o entendimento da proposta apresentada no capítulo 5.

Este capítulo aborda também a recomendação ITU-T G.805, cujo conteúdo serviu de base para a criação da ontologia que lastreia os serviços semânticos propostos no capítulo 5, além de discutir, brevemente, a conceituação referente a Serviços Semânticos (computação).

4.2 VISÃO GERAL SOBRE ONTOLOGIA

4.2.1 Uma Definição Estendida

O termo Ontologia foi cunhado ao longo de muitos anos dentro da comunidade de estudiosos da filosofia, se tornando mais popular ao final do século XVIII. Na filosofia, Ontologia está associada com “o estudo da existência”, um ramo da chamada metafísica (GUIZZARDI, 2007).

Inicialmente, o termo estava fortemente associado aos sistemas de categorias independentes de domínio (universo) de discurso. Mas foi ganhando contornos mais complexos a ponto de surgir o termo Ontologia Formal (assim como existe a Lógica Formal) para designar as estruturas e conceitos fundamentais da disciplina de Ontologia (GUIZZARDI, 2007) (**Ontologia** – nome da disciplina; **ontologia** – nome do produto da aplicação de técnicas e processos da Ontologia).

Aproveitando a famosa definição de Gruber (1993): “Ontologia é uma especificação explícita de uma conceituação”, pode-se depreender que Ontologia é a disciplina que estuda a representação dos conceitos de um domínio de discurso, através uma

linguagem de descrição (especificação). Para que se entenda melhor as implicações da definição de Gruber, se faz necessário definir:

- **Domínio (Universo) de Discurso:** é uma porção da realidade da qual se deseja falar, compartilhar ou formalizar;
- **Conceituação do Domínio:** são os conceitos (relevantes) presentes no Domínio de Discurso;
- **Abstrações de Domínio:** situações e proposições concernentes aos conceitos do Domínio de Discurso, presentes em um dado momento ou em todos os momentos. Representam o conhecimento específico sobre a relação entre alguns conceitos e até mesmo entre as instâncias desses;
- **Linguagem de Representação:** é a linguagem pela qual são representados os conceitos e abstrações de um Domínio, permitindo seu compartilhamento;
- **Modelo (Especificação):** é o produto concreto da descrição dos conceitos e abstrações de um domínio através de uma Linguagem de Representação.

De forma resumida, o processo de construção de uma ontologia consiste em observar o Domínio de Discurso (daqui por diante utilizar-se-á apenas Domínio), capturar sua **Conceituação** e **Abstrações**, expressando-as através de uma **Linguagem de Representação**. O produto desse processo é um **Modelo (Especificação)** que, conforme Guizzardi (2005), é capaz de proporcionar:

- um vocabulário comum;
- a troca não ambígua de conhecimentos;
- a inferência de novos axiomas e conhecimentos;

Essa relação entre a Ontologia e a Lógica foi apresentada pelo filósofo alemão Edmund Husserl (apud. Guizzardi 2005), que acabou por cunhar o termo Ontologia Formal. Guizzardi (2005) também apresenta a possibilidade de criação de Linguagens Específicas de Domínio, onde uma ontologia pode definir primitivas para representar as informações e regras de um determinado Domínio.

4.2.2 Modelagem Conceitual Vs. Implementação Computacional

É importante notar que a Conceituação do Domínio restringirá as possíveis Abstrações de Domínio. Dessa forma, a correta captura dos conceitos e a adequada representação desses (através da Linguagem de Representação) são pontos fundamentais na construção de uma ontologia (GUIZZARDI, 2007).

Em especial, a Linguagem de Representação é um ponto crítico para o processo. Ela deve prover um conjunto de primitivas de modelagem que expresse, de forma completa, concisa e não ambígua, os conceitos do Domínio. Os critérios para se determinar a adequabilidade de uma Linguagem de Representação ao Domínio alvo são bastante complexos e fogem ao escopo deste trabalho (GUIZZARDI, 2007).

Entretanto, pode-se, grosseiramente, resumir que existem dois tipos de linguagens de representação:

- **Linguagens (de Representação) Independentes de Domínio:** são capazes de expressar, adequadamente, a conceituação e a abstração de uma gama de domínios. Suas primitivas de modelagem são apoiadas conceitualmente em uma **Ontologia de Fundamentação** que distingue e justifica cada uma dessas primitivas.
- **Linguagens (de Representação) Específicas de Domínio:** são capazes de expressar, adequadamente, a conceituação e a abstração de um Domínio em especial. Suas primitivas são baseadas em uma Linguagem de Representação Dependente de Domínio;

Uma **Ontologia de Fundamentação** (também conhecida como Ontologia de Alto Nível) promove a conceituação dos aspectos mais básicos e potencialmente presentes em qualquer Domínio (por exemplo, a relação todo parte, as dependências existenciais e a categorização). Linguagens de Representação derivadas de ontologias de fundamentação bem elaboradas têm a possibilidade de descrever adequadamente uma variada gama de Domínios. O produto da descrição de um Domínio através de uma Linguagem de Representação Independente de Domínio é denominado **Modelo Conceitual**. A virtude de um Modelo Conceitual é ser passível de interpretação por um ser humano, que, mesmo não conhecendo o

Domínio (mas conhecendo a Ontologia de Fundamentação utilizada), poderia interpretar as informações do modelo e compreender o conhecimento ali descrito (GUIZZARDI, 2007).

Por outro lado, quando uma ontologia precisa ser interpretada por máquinas (*machine readable*), diferentes critérios de adequabilidade são considerados. A computação deve considerar a tratabilidade, decidibilidade e os objetivos a serem atingidos pelo software em questão. Nesse contexto, as Linguagens de Representação devem ser computáveis e, por vezes, abrir mão da expressividade. Essas **Linguagens Leves de Representação** são derivadas de **Ontologias Leves**, que por sua vez são simplificações das Ontologias de Fundamentação ou das **Ontologias Específicas de Domínio**. O produto gerado pelas Linguagens Leves de Representação são chamados de **Modelos de Implementação (computacional)**

Guarino (1995) (apud. GUIZZARDI 2005) defende que o Modelo Conceitual mantenha independência do Modelo de Implementação. O Modelo Conceitual deve ser expressivo o suficiente para descrever fidedignamente o Domínio. Já o Modelo de Implementação deve ser adequado ao sistema computacional do qual fará parte.

4.3 ASPECTOS RELEVANTES PARA A CONSTRUÇÃO DE ONTOLOGIAS

4.3.1 O Processo de Construção

Ainda não há um processo amplamente aceito para a construção de ontologias, bem como não há uma Linguagem de Representação apoiada por algum organismo de padronização (a exemplo da UML, na Engenharia de Software, que é padronizada pela OMG).

Uma boa visão do que se prega como metodologia de construção de ontologias é o trabalho de Falbo, Menezes e Rocha (1998), que apresentaram a metodologia denominada *Systematic Approach for Building Ontologies* (SABiO). Essa metodologia estende a proposta de Uschold e King (apud. Falbo, Menezes e Rocha 1998) e, dentre outras melhorias, insere as Questões de Competência, propostas

por Gruninger e Fox (apud. Falbo, Menezes e Rocha 1998). De forma geral, a SABiO propõe um conjunto de passos para se criar uma ontologia, dentre eles destacam-se:

1. Identificação do propósito e especificação de requisitos;
 - definição de domínio, requisitos e questões de competência
2. Captura de termos e conceitos relevantes para as especificações do passo 1;
 - Uso de uma linguagem formal, com representação visual, para facilitar o entendimento do que está sendo modelado;
3. Descrição explícita através de uma linguagem formal;
4. Integração com Ontologias Preexistentes;
5. Avaliação da Ontologia Produzida;
6. Documentação da Ontologia.

Falbo (2004) faz uma análise da SABiO e destaca os pontos fortes e fracos do método, além de algumas lições aprendidas. Um de seus destaques é com relação à dificuldade de validação da ontologia produzida, especialmente se ela contempla as questões de competência que foram formuladas.

De forma geral, observa-se que as metodologias de construção de ontologias estão em amadurecimento. A falta de uma metodologia de referência ocasiona uma procura muito grande por soluções diretas, como as de ferramentas e linguagens para geração de Modelos de Implementação. Essa abordagem pode distorcer a etapa de modelagem conceitual, gerando modelos extremamente voltados para a implementação de um software. Esse é o caso de muitos trabalhos que modelam aspectos da Gerência de Redes diretamente através da linguagem OWL (HITZLER et al., 2010).

A metodologia de construção de ontologias utilizada neste trabalho não segue exatamente os passos da SABiO, mas preserva sua essência. Pode se dizer que a estratégia utilizada é composta de duas macro etapas, sendo a primeira a

Modelagem Conceitual e a segunda a **Implementação Computacional** do modelo.

A **Modelagem Conceitual**, que segue os passos 1 a 3 da SABiO, captura os conceitos relevantes do domínio através de uma Linguagem de Representação Independente de Domínio de extrema expressividade, sem nenhum compromisso forte com a implementação de um artefato de software. Essa abordagem, defendida por Guarino (1995, apud. Guizzardi 2005), visa preservar o modelo conceitual, evitando as distorções impostas por uma visão exclusivamente voltada para a implementação.

Para a etapa de **Implementação Computacional** é necessário representar a ontologia através de uma linguagem tratável, decidível e aderente ao projeto do sistema em questão. É a tradução do modelo conceitual para uma linguagem que possa ser interpretada por máquinas.

Ao final de todo o processo tem-se um artefato capaz de ser inserido em um sistema de computação, tornando-o capaz de interpretar as informações capturadas pela Ontologia construída.

As atividades de 4 a 6 da SABiO não são utilizadas no processo adotado neste trabalho.

4.3.2 A Modelagem Conceitual Através da OntoUML

O presente trabalho utiliza a linguagem OntoUML para a etapa de Modelagem Conceitual. OntoUML é uma extensão da UML (um novo perfil - *profile*) cujos esteriótipos foram criados isomorficamente às distinções ontológicas descritas pela Ontologia de Fundamentação *Unified Foundational Ontology* (UFO), proposta por Guizzardi (2005).

Antes que a OntoUML seja apresentada, é necessário entender claramente qual o papel da UFO dentro do processo de criação de um Modelo Conceitual. A UFO é uma proposta de Guizzardi (2005) que sintetiza os aspectos positivos de outras Ontologias de Fundamentação como: a *General Formal Ontology* (GFO) (DEGEN et

al., 2001 apud GUIZZARDI; WAGNER, 2005) e a OntoClean/DOLCE (WELTY; GUARINO, 2001 apud GUIZZARDI; WAGNER, 2005).

A UFO tem como raiz o conceito de Entidade (*Entity*), a partir do qual, propõe uma gama de **Distinções Ontológicas** (diferenciações quanto ao significado e à existência) que agregam importantes contornos para a definição de outros conceitos básicos, independentemente do Domínio. Essas distinções ontológicas foram separadas em três grupos (GUIZZARDI; WAGNER, 2005), formando a:

- **UFO-A:** cria distinções ontológicas para descrever aspectos estruturais das entidades sobre as quais se discursa: categorização, instanciação, propriedades e relações básicas;
- **UFO-B:** é uma extensão da UFO-A para distinguir entidades associadas a eventos e processos; e
- **UFO-C:** uma extensão da UFO-B para refletir aspectos sociais, intenções e comportamentos.

Para um melhor entendimento das contribuições do presente trabalho, faz-se necessário compreender algumas das distinções ontológicas propostas na UFO-A e UFO-B. Os parágrafos que seguem são apenas uma alusão ao arcabouço teórico discutido por Guizzardi(2005), visando, tão somente, fundamentar as primitivas de modelagem da OntoUML que são utilizadas na construção do modelo conceitual proposto neste trabalho.

Uma das principais distinções ontológicas presentes na UFO é a que diferencia entidades universais (**Universals**) e entidades particulares (**Particulars**). Entidades particulares são objetos do mundo real que possuem identidade única. Porém, diferentes particulares podem apresentar padrões e características que os remetam a uma raiz comum, universal. Em outras palavras, entidades particulares são instâncias de entidades universais.

Outra distinção fundamental é a que existe entre as entidades endurantes (**Endurants**) e as perdurantes (**Perdurants**). As endurantes preservam suas partes essenciais, mantendo sua identidade, independente do tempo (temporalidade). Os

perdurantes (também chamados de eventos) possuem partes temporalmente dependentes, que nem sempre estão presentes, conforme o momento avaliado.

A UFO-A é dedicada à descrição das diferentes distinções entre os endurantes. Uma das distinções fundamentais é a que separa as atribuições aplicáveis ao indivíduo (**Monadic**) e as relações (**Relation**) entre dois ou mais indivíduos. Observando-se as atribuições aplicáveis ao indivíduo (**Monadic**), elas podem ser diferenciadas entre objetos (**Objects**); aspecto ligado à identidade; e propriedades (**Properties**); aspectos ligados à qualidade. Os objetos sortais (**Sortals**) ou misturados (**Mixin**) diferem quanto ao princípio de identidade. Os sortais abrigam entidades de mesmo princípio de identidade, permitindo distinguir se dois indivíduos são o mesmo, independente da circunstância. Os misturados representam os universais dispersivos (**Dispersive Universals**) que reúnem indivíduos com diferentes princípios de identidade, mas com alguma afinidade.

Dentre os sortais estão:

- **Espécie (Kind)**: entidade que provê o princípio de identidade à suas instâncias, gerando indivíduos;
- **Subespécie (Subkind)**: é uma especialização de Espécie, acrescentando características ao princípio de identidade;
- **Coleção (Collection)**: grupo de diferentes indivíduos que guardam alguma característica comum quanto a seus princípios de identidade;
- **Fase (Phase)**: sortal que gera instâncias cuja existência está associada a um determinado período de tempo;
- **Papel (Role)**: sortal que gera instâncias associadas a uma relação (essa fortemente ligada a um evento).

Dentre os misturados estão:

- **Categoria (Category)**: misturado que classifica entidades de Espécies diferentes, mas que compartilha ao menos uma característica essencial (que não podem perder).

Seguindo o ramo das propriedades (*Properties*), existe a diferenciação entre propriedades singulares, chamadas de qualidades (*Qualities*) e propriedades associadas a múltiplas entidades (*Relators*). As qualidades, que podem ser simples ou complexas (compostas), possuem relação com uma estrutura de qualidade (*Quality Structure*), uma espécie de espaço de valores ou estrutura de valoração. Já os *Relators* são entidades existencialmente dependentes de outras, impondo uma relação material entre essas entidades de suporte.

As relações materiais (*Material Relation*) e as relações formais (*Formal Relation*) são derivadas das relações (*Relations*). As relações materiais são aquelas mediadas por um *Relator*, gerando assim uma entidade existencialmente dependente (o próprio *Relator*). Já as relações formais são aquelas observadas diretamente entre duas entidades, tais como:

- **Todo-parte (*Parthood*)**: onde um indivíduo não pode existir se uma de suas partes ou uma parte não pode existir sem um indivíduo (o todo);
- **Mediação (*Mediation*)**: onde um *Relator* se relaciona com uma das múltiplas entidades que proporcionam a relação material;
- **Participação (*Participation*)**: relação entre uma entidade e os eventos dos quais ele participa.

A OntoUML propõe a adição de esteriótipos na UML, aproveitando suas primitivas visuais e passando a representar as distinções ontológicas da UFO. As Figuras 10 e 11 mostram a aplicação dessa primitivas na construção de um Moledo de Referência.

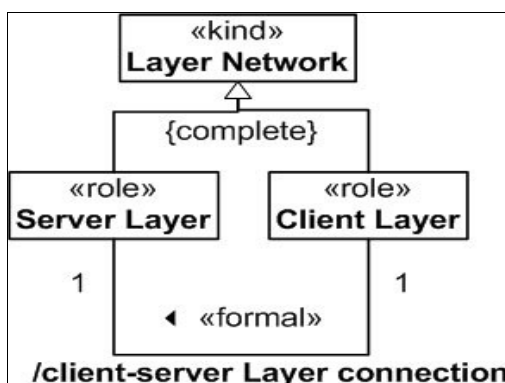


Figura 10: Exemplo da Descrição do Conceito de *Layer* via OntoUML

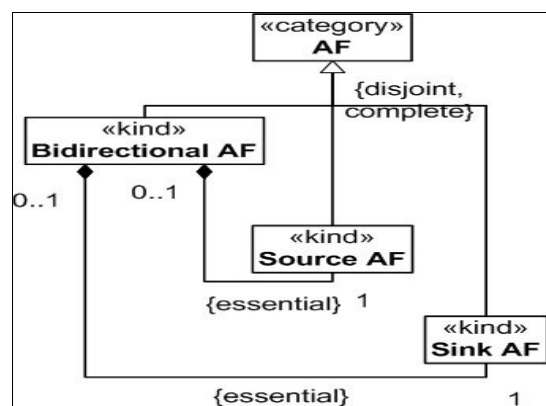


Figura 11: Exemplo da Descrição da Função de Adaptação via OntoUML

Na Figura 10 é apresentado o conceito de *Layer Network*, modelado através da primitiva **espécie** (**<<kind>>**), cujas propriedades fundamentais estarão presentes em instâncias dos conceitos *Server Layer* e *Client Layer*, ambos modelados com **papéis** (**<<role>>**). Nota-se também que a presença da distinção ontológica **completa** (**{complete}**), que descreve a possibilidade de se instanciar objetos (indivíduos) diretamente desse conceito. Ainda é possível denotar que os conceitos *Server Layer* e *Client Layer* podem se relacionar através da relação formal **/client-server Layer connection**, onde as camadas podem ser clientes de outras e, possivelmente, também servidoras de outras.

A Figura 11 mostra a modelagem do conceito de *Adaptation Function* (AF), uma categoria (**<<category>>**) que engloba AFs unidirecionais e um AF bidirecional. Esse último é composto, **essencialmente** (**{essential}**) - de forma que nenhuma das partes pode ser retirada sob pena da perda da identidade do indivíduo), por dois AFs unidirecionais, um no sentido da origem (*source*) e outro no sentido do destino (*sink*),

Por ser uma linguagem de representação da UFO (isomórfica), a OntoUML é significativamente mais expressiva e adequada para a criação de Modelos Conceituais do que a UML, por exemplo. Mas, apesar da expressividade e acuracidade da OntoUML, faz-se necessário o uso de regras lógicas adicionais para descrever algumas Abstrações de Domínio (especialmente as mais complexas). Essa abordagem permite que o Modelo Conceitual reúna mais subsídios para prover inferências e derivações que podem resultar em novos conhecimentos. Essas regras são escritas através de primitivas da Lógica Descritiva, uma variante mais expressiva que a lógica proposicional e mais eficiente, no que tange a decidibilidade, do que a lógica de predicados de primeira ordem (NARDI; et. al., 2003).

4.3.3 A Modelagem de Implementação

Como exposto anteriormente, um **Modelo de Implementação** de uma ontologia deve estar orientado às questões computacionais (especialmente quanto a tratabilidade e decidibilidade). A modelagem de implementação deve ser uma etapa

de tradução do Modelo Conceitual (ontologia) para um determinado conjunto de requisitos de construção de um software. Entretanto, muitos não adotam essa abordagem, construindo um artefato único que será tomado como Modelo Conceitual e de Implementação, ao mesmo tempo. Essa prática é induzida pela facilidade de acesso às linguagens de implementação e seu ferramental de apoio, que vêm se tornando cada vez mais populares. Os impactos negativos dessa prática podem alcançar a expressividade do Modelo Conceitual ou a complexidade desnecessária do modelo de implementação.

Existem diferentes linguagens capazes de transpor o conhecimento descrito em um Modelo Conceitual para artefatos computáveis. Talvez as mais simples sejam as linguagens de descrição de Lógica de Primeira Ordem (a exemplo de Prolog) (GNU, **Prolog**, 2010), embora elas não possuam suporte robusto para capturar aspectos mais complexos de uma conceituação de domínio.

Em outra categoria estão as linguagens de implementação baseadas em *Frames* (quadros) de conhecimento (a exemplo de F-Logic) (KIFER; LAUSEN; WU, 2010). Essas são centradas na estrutura de dados que apoiam a representação dos conceitos, tendo uma forte ligação com a disciplina de recuperação de informação. Por consequência, são, potencialmente, linguagens com maior desempenho na manipulação das informações.

Quando se considera mais relevante a independência de fabricantes, a diversidade de ferramentas de suporte e os padrões abertos, a linguagem *Ontology Web Language* versão 2 (OWL 2) (HITZLER et al., 2010) é uma forte candidata. Apesar de possuir três versões (*Full*, DL e *Light*), o termo OWL é comumente utilizado como sinônimo de OWL-DL. Juntamente com a versão OWL-Light, a OWL-DL é uma das versões computáveis, já que a OWL-Full é recomendada apenas para a descrição de Modelos Conceituais. OWL-DL é a representante da família com melhor relação entre a expressividade e a computabilidade.

Por se tratar de um padrão W3C, OWL-DL (originada de uma fusão de antigas linguagens de representação de ontologias) possui compatibilidade com os padrões de infraestrutura *Web*, aproveitando a capacidade de transporte fornecida pelo protocolo *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) e o sistema de identificação de

recursos (*Uniform Resource Identifier* - URI), além de múltiplas possibilidades de sintaxes (dentre elas uma no padrão *Extensible Markup Language* - XML). Por considerar os critérios apontados acima como importantes para a proposta deste trabalho, OWL-DL versão 2 foi adotada como linguagem de implementação da ontologia proposta. Abaixo segue um trecho de uma implementação (arquivo OWL) referente ao conceito de *Adaptation Function* (AF) onde a palavra **Class** (em OWL) corresponde a à distinção **Espécie** (<<*Kind*>> em OntoUML) e a palavra **subClassOf** (em OWL) corresponde a **Subespécie** (<<*subkind*>> em OntoUML).

```
<!-- http://www.semanticweb.org/ontologies/2009/10/27/Ontology1259288073743.owl#AF -->

<owl:Class rdf:about="#AF">
  <owl:equivalentClass>
    <owl:Class>
      <owl:unionOf rdf:parseType="Collection">
        <rdf:Description
rdf:about="#Bidirectional_AF"/>
        <rdf:Description rdf:about="#Sink_AF"/>
        <rdf:Description rdf:about="#Source_AF"/>
      </owl:unionOf>
    </owl:Class>
  </owl:equivalentClass>
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#TPF"/>
  <owl:disjointWith rdf:resource="#TTF"/>
</owl:Class>
```

Seguindo os mesmos critérios citados anteriormente, a linguagem *Semantic Web Rule Language* (SWRL) (W3C. **SWRL: A SEMANTIC WEB RULE LANGUAGE COMBINING OWL AND RULEML**, 2010) foi escolhida para representar as regras lógicas descritivas adicionais. Sua estreita ligação com a OWL e sua sintaxe propícia à criação de regras seguras quanto à decidibilidade fazem dela uma escolha adequada para o cenário exposto aqui.

A linguagem SWRL descreve regras lógicas através do padrão **Antecedente** (**Body** - conjunto de fatos presentes) **Implica** (operador consequência) em **Consequente** (**Head** - conjunto de fatos derivados). Um exemplo de implementação de uma regra lógica (descrita inicialmente pela proposição P 4.1) se encontra logo abaixo.

$\text{hasParent}(?x1,?x2) \wedge \text{hasBrother}(?x2,?x3) \Rightarrow \text{hasUncle}(?x1,?x3)$ (P 4.1)

```

<ruleml:imp>
  <ruleml:_rlab ruleml:href="#example1"/>
  <ruleml:_body>
    <swrlx:individualPropertyAtom swrlx:property="hasParent">
      <ruleml:var>x1</ruleml:var>
      <ruleml:var>x2</ruleml:var>
    </swrlx:individualPropertyAtom>
    <swrlx:individualPropertyAtom swrlx:property="hasBro-
ther">
      <ruleml:var>x2</ruleml:var>
      <ruleml:var>x3</ruleml:var>
    </swrlx:individualPropertyAtom>
  </ruleml:_body>
  <ruleml:_head>
    <swrlx:individualPropertyAtom swrlx:property="hasUncle">
      <ruleml:var>x1</ruleml:var>
      <ruleml:var>x3</ruleml:var>
    </swrlx:individualPropertyAtom>
  </ruleml:_head>
</ruleml:imp>

```

Percebe-se que o conjunto de predicados da proposição P 4.1 foi mapeado para propriedades atômicas (**individualPropertyAtom**) dentro da sentença implementada.

A escrita de regras lógicas descritivas (RLD) complexas leva a extensas descrições através da linguagem SWRL. A leitura de tais regras é enfadonha para seres humanos. Por esse motivo, não foi apresentado um exemplo de implementação SWRL diretamente ligado ao modelo desenvolvido durante a elaboração do presente trabalho.

4.4 ONTOLOGIA COMO SUPORTE A COMPUTAÇÃO ORIENTADA A SERVIÇOS SEMÂNTICOS

4.4.1 Princípios Básicos da Computação Orientada a Serviço

A Computação Orientada a Serviços tem se tornado um tema de grande interesse da comunidade de computação. Esse novo paradigma propõe que sistemas computacionais interajam através de mecanismos de comunicação que permitam acoplamento fraco e interação sob demanda, em tempo de execução (KUROPKA et al., 2008).

O termo **Serviço** representa na Computação uma abstração para uma interação entre sistemas onde um consumidor requisita um processamento ou recurso e um provedor entrega o resultado esperado, conforme um contrato prévio. O contrato, também chamado de comportamento, é expresso através de uma **Interface** (de acesso), onde são definidos os dados a serem trocados (enviados e recebidos) (TANENBAUM; STENN, 2007).

Inúmeras tecnologias têm sido empregadas para fornecer a abstração de Serviço. Uma das primeiras experiências foi a *Remote Procedure Call* (RPC), apresentada pela *Sun Microsystems*. Nela, o consumidor (cliente) chama, através da rede, procedimentos (rotinas computacionais) remotos que são executados em um provedor (servidor). Posteriormente, seguindo o paradigma da Orientação a Objetos, alguns *Middleware Systems* tais como: as implementações do CORBA, o Microsoft DCOM, JAVA RMI e o JAVA Enterprise Edition; oferecem serviços baseados na distribuição de objetos e/ou componentes de software (TANENBAUM; STENN, 2007).

Apesar de representarem um avanço para a área de sistemas distribuído, os serviços baseados nas tecnologias descritas acima não oferecem o dinamismo e a flexibilidade propostos pela Computação Orientada a Serviço. Grande parte dessas tecnologias legadas ainda exige que os consumidores saibam exatamente os serviços que irão demandar, bem como suas interfaces. Os mecanismos oferecidos para a descoberta de serviços são bastante limitados, uma vez que é necessário

saber de antemão qual o serviço que se deseja (ou está preparado para) usar (BURBECK, 2010).

4.4.2 Breve Definição de Serviços Semânticos

Um primeiro passo em direção às Arquiteturas (de Sistemas) Orientadas a Serviço (*Service Oriented Architecture* - SOA) (BURBECK, 2010) foi a criação do *Web Services* (WS). Trata-se da definição de uma infraestrutura de fornecimento de serviços através das tecnologias *Web*, proporcionando o acesso aos serviços sem a necessidade dos arquivos hipertexto (*Hipertext Markup Language* - HTML). Nesse modelo, o HTTP é o mecanismo de transporte da informação e o XML é a gramática básica para a representação de dados. Através de: uma sucinta descrição dos serviços oferecidos (escrita através da *Web Services Description Language* - WSDL), um protocolo de acesso (*Simple Object Access Protocol* - SOAP) e um sistema de localização (*Universal Description, Discovery and Integration* – UDDI); a tecnologia *Web Services* possibilita a criação de serviços consumíveis através da Internet (W3C. **WEB OF SERVICES**, 2010).

Embora a *Web Services* tenham trazido a independência dos serviços com relação a linguagens de programação, *Middleware Systems* e fabricantes, ela não foi capaz de apoiar a descoberta e uso dinâmicos de um serviço, visando a composição (orquestração) de serviços complexos. Em torno dessa discussão, existe a proposta dos **Serviços Semânticos**, que, segundo Kuroпка e outros (2008), se diferencia dos **Serviços** por conter uma **Especificação Semântica** (significado) de sua interface (comportamento). Nessa especificação semântica são apresentados não só os formatos, mas também o significado das funcionalidades e dados envolvidos.

Seguindo a definição de Serviços Semânticos, observa-se que uma ontologia é um recurso de grande valia para geração desses. Uma ontologia poderia apoiar uma Especificação Semântica e proporcionar o suporte necessário à descoberta e uso dinâmico de serviços. Essa abordagem entrou em ressonância com a iniciativa *Semantic Web* (*Web* com informações semânticas) (W3C. **SEMANTIC WEB**, 2010), cujo objetivo é descrever os conceitos presentes em um documento da Internet

através de uma linguagem de descrição de ontologias. Esse movimento levou à criação do grupo de interesse em *Semantic Web Services* (W3C, **Semantic Web Service Interest Group**, 2010) e à discussão sobre a fusão de tecnologias W3C de descrição de ontologias e de criação de *Web Services*.

4.5 A RECOMENDAÇÃO ITU-T G.805 COMO BASE PARA UMA ONTOLOGIA

4.5.1 Fundamentos da Recomendação ITU-T G.805

A recomendação ITU-T G.805 (ITU; **G.805**, 2010), de título “Arquitetura Funcional Genérica das Redes de Transporte”, apresenta um modelo funcional e estrutural para descrever arquiteturas abstratas de redes de transporte, independente de tecnologia. A independência do modelo de arquitetura em relação às tecnologias específicas fornece a capacidade de descrever qualquer arquitetura de rede de transporte. Isso torna essa recomendação a base para outras recomendações mais específicas como, por exemplo, a recomendação ITU-T G.872 (ITU. **G.872**, 2010), que descreve a arquitetura das Redes Ópticas de Transporte - *Optical Transport Networks* (OTN).

Como um modelo abstrato de arquitetura de redes de transporte, a ITU-T G.805 traz a definição, em linguagem natural (Inglês), dos **Componentes Arquiteturais** utilizados para descrever uma determinada rede. Esses **Componentes Arquiteturais** podem ser dos seguintes tipos:

- **Componentes Topológicos:** proporcionam a descrição mais abstrata de uma rede em termos de sua topologia lógica, indicando relação entre **Pontos de Referência** (origem e destino). Através de quatro componentes topológicos é possível descrever a topologia lógica de qualquer rede de transporte:
 - ✓ *Access Group* – conjunto de pontos de referência de acesso ao *Layer* em questão;

- ✓ Link – enlace direto, sem alternativas de conexão;
 - ✓ Subnetwork – sub-rede com a capacidade de alternativas de conexão entre seus pontos de entrada e saída; e
 - ✓ Layer – camada tecnológica onde a topologia descrita reside. Representa um nível de visão topológica da rede quando essa é organizada em camadas.
- **Entidades de Transporte:** proporcionam a transferência transparente de informações entre **Pontos de Referência** de uma **Camada**. Representam a capacidade efetiva de uma informação ser transportada de uma origem a um destino, dentro de um mesmo *Layer*. As **Entidades de Transporte** podem ser do tipo:
 - ✓ Connections (*Link Connection* - LC, *Subnetwork Connection* – SNC e *Network Connection* - NC): representam a capacidade de transporte da informação (sinal característico) de uma camada; e
 - ✓ Trails: representa o transporte de sinais de controle que tornam possível a transferência da informação.
 - **Funções de Processamento de Transporte:** representam o processamento necessário para que uma informação advinda de uma camada seja capaz de ser tratada por elementos de outra camada (seja essa última inferior ou superior). As funções de processamento de transporte são de dois tipos:
 - ✓ Adaptation Function (AF): representa o processamento necessário para a adaptação de um sinal para que esse seja capaz de ser transportado em uma outra camada; e
 - ✓ Trail Termination Function (TTF): representa o processamento necessário para a criação dos sinais de controle que forma um *Trail*.
 - **Pontos de Referência:** representam o vínculo entre as **Funções de Processamento de Transporte** e/ou as **Entidades de Transporte**. Dentre os **Pontos de Referência** estão:

- ✓ Access Point (AP): representa o vínculo entre as saídas/entradas de uma AF e um TTF . Delimitam os sinais de controle que formam um *Trail*;
- ✓ Termination Connection Point (TCP): representa o vínculo entre as saídas/entradas de uma TTF e uma *Connection*; e
- ✓ Connection Point (CP): representa o vínculo entre as saídas/entradas de duas *Connections* ou de duas AFs.

A recomendação ITU-T G.805 utiliza um linguagem visual para representar os conceitos descritos acima. Essa linguagem visual materializa os conceitos descritos através de diagramas, apoiando um melhor entendimento das abstrações propostas.

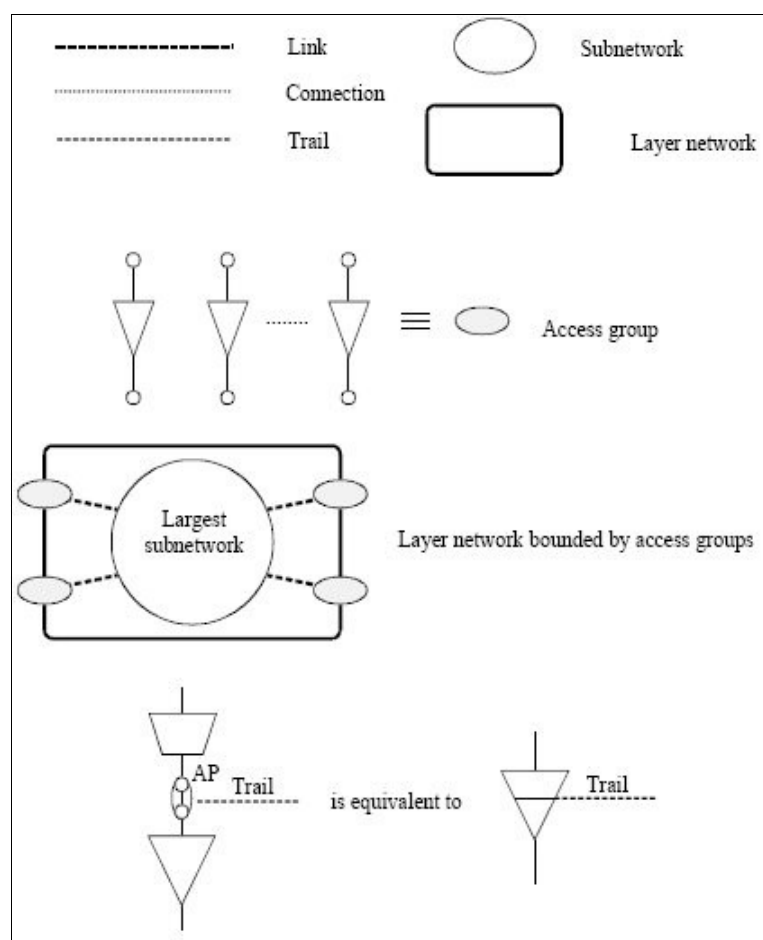


Figura 12: ITU-T G.805 Representação Visual dos Componentes Topológicos e Entidades de Transporte

Fonte: (ITU-T, G.805, 2010) adaptada

A Figura 12 mostra a relação entre os Componentes Topológicos e as Entidades de Transporte (definidos textualmente pela recomendação) e suas respectivas representações visuais. Na metade inferior da Figura 12 também é possível observar a relação entre os Componentes Topológicos (*Layer*, *Subnetwork*, *Link* e *Access Group*) e uma simplificação de representação visual (equivalência) entre a composição *Adaptation Function*, *Access Point* e *Trail Termination Function*.

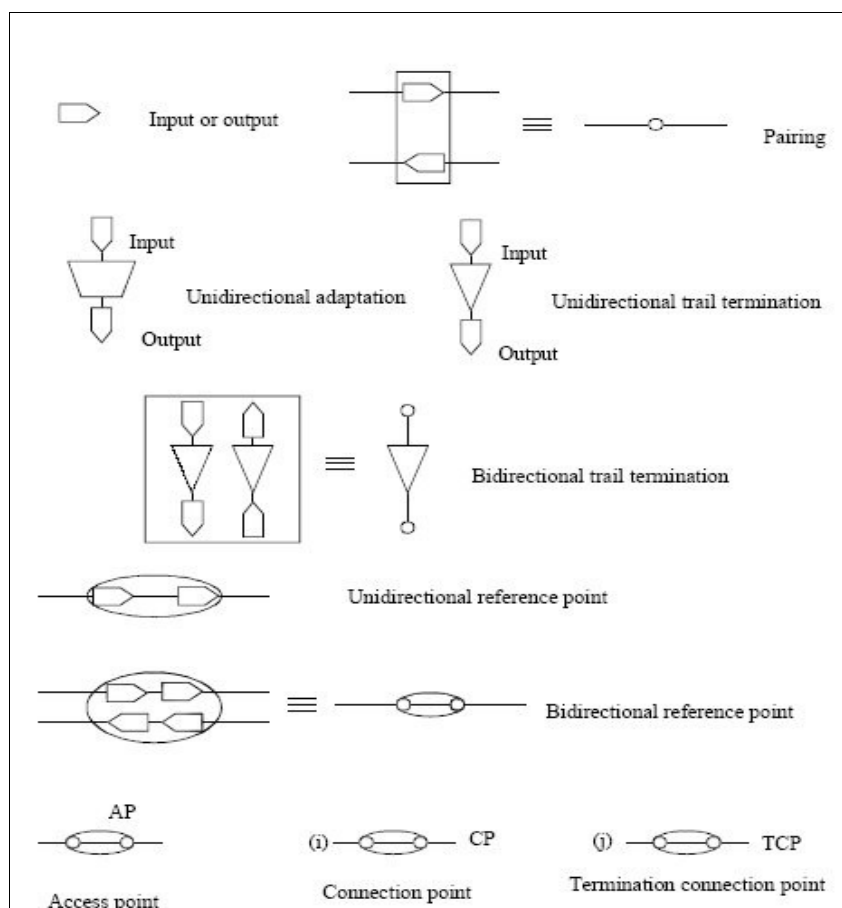


Figura 13: ITU-T G.805 - Representação Visual de Funções de Processamento e Pontos de Referência

Fonte: (ITU, G.805, 2010) adaptada

A Figura 13 mostra a relação entre às Funções de Processamento de Transporte e os Pontos de Referência e suas respectivas representações visuais. Na metade inferior da figura também são apresentadas simplificações na representação dos Pontos de Referência.

Para a criação de modelos concisos, a G.805 emprega um alto grau de recursividade, propondo os conceitos ortogonais de particionamento (*Partitioning*) e

divisão em camadas (*Layering*). A visão vertical da rede, que corresponde ao conceito da divisão em camadas, permite que cada camada seja descrita usando-se Componentes Arquiteturais similares, mesmo que a função de cada um possua propriedades específicas. Além disso, esse conceito torna mais simples a modelagem de redes que contenham múltiplas tecnologias de transporte (redes multicamadas).

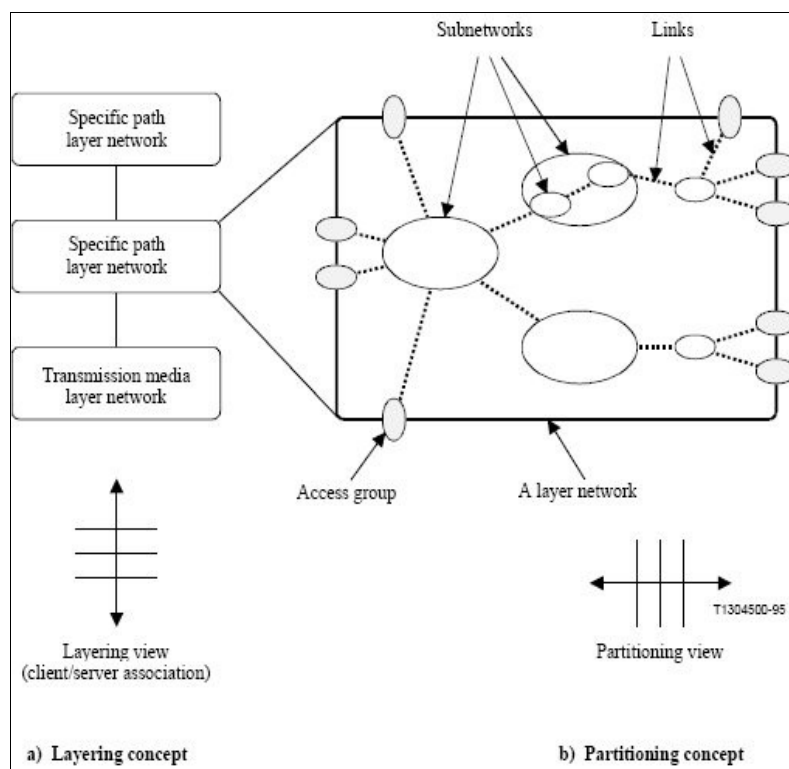


Figura 14: ITU-T G.805 Representação Visual dos Conceitos: *Partitioning e Layering*

Fonte: (ITU, G.805, 2010)

O conceito de particionamento corresponde à visão horizontal da rede e ocorre dentro das camadas, definindo sua topologia lógica. O particionamento ainda é importante para fins de roteamento e divisão de domínios administrativos.

A Figura 14 apresenta (à esquerda) a visão de uma rede de transporte multicamadas, onde uma das camadas intermediárias é investigada em termos de seus Componentes Topológicos (*Layering*). O conceito de particionamento (*Partitioning*) pode ser visto no quadrante superior direito, quando uma das *Subnetworks* é apresentada como uma composição entre *Links* e outras *Subnetworks*.

A transferência de informações entre TCPs da rede é realizada pelas camadas adjacentes. Essas camadas possuem um relacionamento do tipo Cliente-Servidor entre si, isto é, uma camada de nível mais baixo, a servidora, fornece serviços para outra de nível mais alto, a cliente. Um exemplo do relacionamentos Cliente-Servidor é o das camadas do Canal Óptico (OCh) (cliente) e da Seção de Multiplexação Óptica (OMS) (servidora) (ITU. **G.872**, 2010). É importante ressaltar que o relacionamento entre camadas é estabelecido pela composição de adjacência e não pela direcionalidade do fluxo de informação. Isso significa que uma camada é sempre cliente, independentemente do fluxo de informação estar saindo dela ou entrando nela.

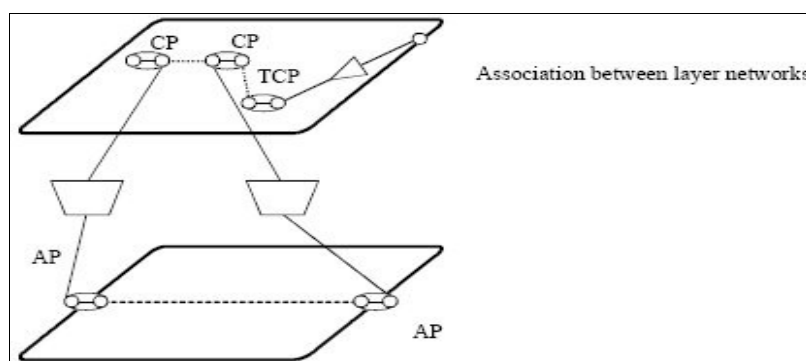


Figura 15: ITU-T G.805 - Representação Visual do Relacionamento entre Camadas

Fonte: (ITU, **G.805**, 2010)

A Figura 15 mostra os Componentes Arquiteturais envolvidos na transferência de informações entre camadas adjacentes. A camada superior é chamada de Cliente e a inferior de Servidor. Caso houvessem mais camadas (acima ou abaixo), uma mesma camada poderia atuar tanto como Cliente quanto como servidora.

Outro aspecto importante é a direção da informação ao atravessar cada um dos Componentes Arquiteturais. A origem da informação é chamado de *Source* e o destino é chamado de *Sink*. Um fluxo de informação pode ser Unidirecional (*Source* em direção ao *Sink*) ou Bidirecional (um par de fluxos Unidirecionais, do *Source* em direção ao *Sink* e do *Sink* em direção ao *Source*).

não está no escopo do presente trabalho. Recomenda-se a leitura do texto original da recomendação para um maior aprofundamento sobre o tema (ITU, **G.805**, 2010).

4.5.2 Análise Crítica da ITU-T G.805 Como Base de Uma Ontologia

Um aspecto importante para a construção de uma ontologia é discutir se a conceituação do Domínio é adequada para representar todas as abstrações que se pretende (ver seção 4.2). Embora seja sempre difícil o exercício de se propor cenários, a recomendação ITU-T G.805 é utilizada como linguagem de descrição abstrata para todas as tecnologias de redes de transporte abordadas pela ITU-T. Das redes ATM às redes OTN, passando (recentemente) pelas tecnologias sem conexão (*connectionless*) como Ethernet e IP (SOARES, 1997), a representação abstrata (arquitetural) fornecida pela ITUT G.805 se mostrou adequada. Esse fato se concretiza ao se observar que outros documentos do ITU-T (G.803, G.806, G. 809, G.872, etc.) utilizam os conceitos da G.805 como parte integrante de novas definições, explicações e exemplos.

Além da ITU-T, o TMForum (importante organização associada à gerência de redes de telecomunicações) utiliza os conceitos da recomendação ITU-T G.805 como parte da conceituação básica de seus documentos. Observando a iniciativa TMForum MTNM, através de seu documento SD1-18_layers.pdf (TMForum, **MTNM**, 2010), é possível detectar a presença dos conceitos: *Layer*, Pontos de Referência, *Adpatation Function*, *Trail Termination Function*, dentre outros. O texto referencia claramente a ITU-T G.805 como fonte desses conceitos. Pode-se concluir que a ITU-T G.805 é adequada também para o Domínio da Gerência de Redes de Telecomunicações (em especial as redes de transporte).

Obviamente, não se pode esperar que todos os aspectos de uma rede de telecomunicações sejam descritos apenas através dos conceitos arquiteturais propostos pela ITU-T G.805. Os conceitos físicos, os dependentes de tecnologia e os associados a alguma das disciplinas de OAM&P não fazem parte do escopo dessa recomendação. Ela se propõe a representar os elementos mais abstratos da

composição de uma rede de transporte, permitindo que conceitos mais complexos sejam criados a partir dela.

Outro aspecto relevante para a criação de uma ontologia é sua aceitação pela comunidade de interesse. O consenso (mesmo que vinculado a algumas restrições) da comunidade fortalece o uso de uma ontologia e torna mais intenso o compartilhamento (reúso) e a melhoria dessa (extensão). Os efeitos desse fortalecimento levam à potencial interoperabilidade de ferramentas e sistemas que tomam como base a ontologia compartilhada. Observa-se que o trabalho de van der Ham, e outros (2007), *Network Description Language* (NDL), não pautou a construção de seus conceitos visando a compatibilidade com a ITU-T G.805 (conforme informado pelos autores). Essa fato implica em possíveis desacordos semânticos (significado) entre esses dois Modelos Conceituais (NDL e ITU-T G.805).

4.5.3 Avaliação dos Potenciais Serviços Semânticos Baseados na OTU-T G.805

Após a visão geral da recomendação ITU-T G.805, percebe-se que uma ontologia gerada a partir dela poderia fornecer as abstrações mais básicas para a representação de uma rede de transporte. Tais abstrações poderiam ser fornecidas através de Serviços Semânticos, permitindo que diferentes entidades (ferramentas e sistemas) compartilhassem um entendimento comum sobre suas informações e ações.

Uma primeira categoria de serviços deve estar associada à topologia lógica da rede. Os chamados **Serviços Semânticos Topológicos** devem permitir que as entidades de gerência compartilhem a descrição de uma rede de transporte, apoiando a leitura e a escrita de cada um dos Componentes Arquiteturais descritos na recomendação ITU-T G.805. Para isso, apresenta-se como importantes os seguintes serviço:

- **Consulta / Inserção / Remoção / Alteração de Componentes Arquiteturais:** são operações básicas associadas à descrição de uma rede de transporte. Possibilitam a atualização dinâmica das informações sobre a rede, garantindo ao ecossistema interoperar sobre uma mesma rede;

- **Recuperação de Componentes Arquiteturais por Camada da Rede:** são serviços que privilegiam a relação dos Componentes Arquiteturais com suas respectivas camadas tecnológicas (*Layer Network*). São especialmente úteis para a contextualização das entidades que operam no ecossistema. Os Componentes Arquiteturais assumem comportamentos distintos em função da camada que habitam.
- **Recuperação/Verificação de Caminhos e Conexões entre Pontos de Referência:** são serviços mais próximos das aplicações de gerência que buscam entender se existem ou não condições para que uma conexão seja realizada ou continue existindo.

Os serviços semânticos baseados na ITU-T G.805 podem ganhar em poderio caso hajam também serviços de suporte semântico, tais como:

- **Extensão da Ontologia:** novos conceitos (harmônicos aos já existentes) podem ser acrescentados durante o ciclo de vida do ecossistema. Esse serviço atende ao princípio do reúso;
- **Dicionário de Sinônimo:** suporte à tradução de termos definidos em outras ontologias ou vocabulários. Isso permite uma maior heterogeneidade de termos na formação do conjunto de conceitos comuns ao ecossistema; e
- **Transferência da Ontologia:** suporte à transferência de Modelos de Implementação inteiros para que as entidades que desejarem possam operar conforme o cenário lido ou até oferecer seus próprios serviços semânticos.

4.6 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

O presente capítulo apresentou os fundamentos da construção de uma ontologia, apontando, resumidamente a metodologia e as linguagens que fazem parte da proposta apresentada no Capítulo 5. Apresentou também uma visão geral da recomendação ITU-T G.805 e seus principais conceitos, além dos fundamentos dos chamados Serviços Semânticos.

Observando as contribuições dadas ao campo do Autogerenciamento onde a Ontologia está presente, fica evidente que o uso dessa representa um potencial avanço em direção à interoperabilidade (semântica) e reúso.

A recomendação ITU-T G.805 se apresenta como uma alternativa viável e adequada para a criação de uma ontologia que sirva como núcleo de um ecossistema de autogerenciamento.

5 UMA PROPOSTA DE SERVIÇOS SEMÂNTICOS RELACIONADA AO AUTOGERENCIAMENTO EM REDES DE TRANSPORTE.

5.1 APRESENTAÇÃO DO CAPÍTULO

Este capítulo corresponde à parte central da tese, contendo as principais contribuições. Nele é apresentada uma síntese dos *gaps* e oportunidades dentro da Gerência de Redes, especialmente em relação ao Autogerenciamento, cujos desafios são os motivadores deste trabalho. Em seguida, os *gaps* identificados são confrontados com o problema base desta investigação, delimitado na seção 1.2. Como resultado dessa comparação são enumeradas as lacunas a serem preenchidas e as contribuições necessárias para tal preenchimento.

Também é apresentada a proposta de uma arquitetura e de uma ontologia computacional como elementos materiais das contribuições pretendidas. A proposta é desenvolvida de forma a separar a especificação preliminar das questões técnicas da implementação.

5.2 OS PRESSUPOSTOS DA PROPOSTA

5.2.1 O Atual Cenário da Gerência Clássica

No Capítulo 2 foi apresentada a literatura clássica da Gerência de Redes, onde se procurou evidenciar as técnicas, padrões e procedimentos que habitam o atual cenário da Gerência de Redes.

Percebe-se que os esforços dos anos de 1980 e 1990 foram na direção da criação e consolidação de modelos de arquitetura e protocolos para transportar os dados da Gerência de Redes. Esse desenvolvimento é de grande importância, pois estabeleceu os alicerces de toda a sistemática de coleta e armazenamento de informações de gerência.

Por outro lado, os objetos gerenciados e a MIB sempre estiveram em discussão. O uso do paradigma de Orientação a Objetos ou de Dados Estruturados atrasou o desenvolvimento de alguns protocolos, caso do SNMP. Essa discussão retornou com maior intensidade quando surgiu uma maior preocupação com a semântica dos dados (por conta da interoperabilidade entre sistemas). Mais do que a estrutura, era necessário definir o significado dos dados da Gerência de Redes. Entretanto, a solução pensada, que vem se consolidando nos anos 2000, é a de se construir Modelos de Dados Compartilhados, caso do CIM (DTMF) e do SID (TMForum). Em ambas as propostas (CIM e SID) uma grande parte da semântica dos dados está implícita e não permite a aplicação de mecanismos computacionais de raciocínio e computação autônoma. Essa é a clássica abordagem da integração sintática, cujos problemas já foram antecipados na introdução deste trabalho (ZHOU et al., 2010).

Como conclusão, a Gerência de Redes clássica criou protocolos e ferramentas importantes, mas seu atual desenvolvimento não apresenta respostas efetivas para os desafios da Gerência Autônoma de Redes (Autogerenciamento).

5.2.2 O Estado da Arte e o Autogerenciamento

O Capítulo 3 apresentou, de forma resumida, a linha de desenvolvimento de alguns dos paradigmas mais relevantes para o estado da arte da Gerência de Redes. Dentre esses, foi apresentado o paradigma do Autogerenciamento, derivado da proposta da Computação Autônoma, disciplina do campo da Inteligência Artificial.

Nas várias propostas e contribuições para o Autogerenciamento, citadas no Capítulo 3, observa-se o uso frequente de mecanismos de Inteligência Artificial e da Engenharia do Conhecimento. Entretanto eles contrariam alguns princípios, como o da autorregulação e o do compartilhamento do ecossistema, formulados por Herrmann, Mühl e Geihs (2005).

A Figura 17 ilustra, de forma resumida, um típico ambiente de autogerenciamento de redes. É possível observar que as entidades de gerência são organizadas no modelo de camadas, estabelecido pela recomendação da ITU-T M.3000 (ITU-T **M.3000**, 2010). Entretanto, os modelos conceituais sobre a rede e seus elementos

não são compartilhados (balões verde e rosa saindo dos agentes), impedindo a constituição de um ecossistema (ambiente compartilhado) de Gerência de Redes.

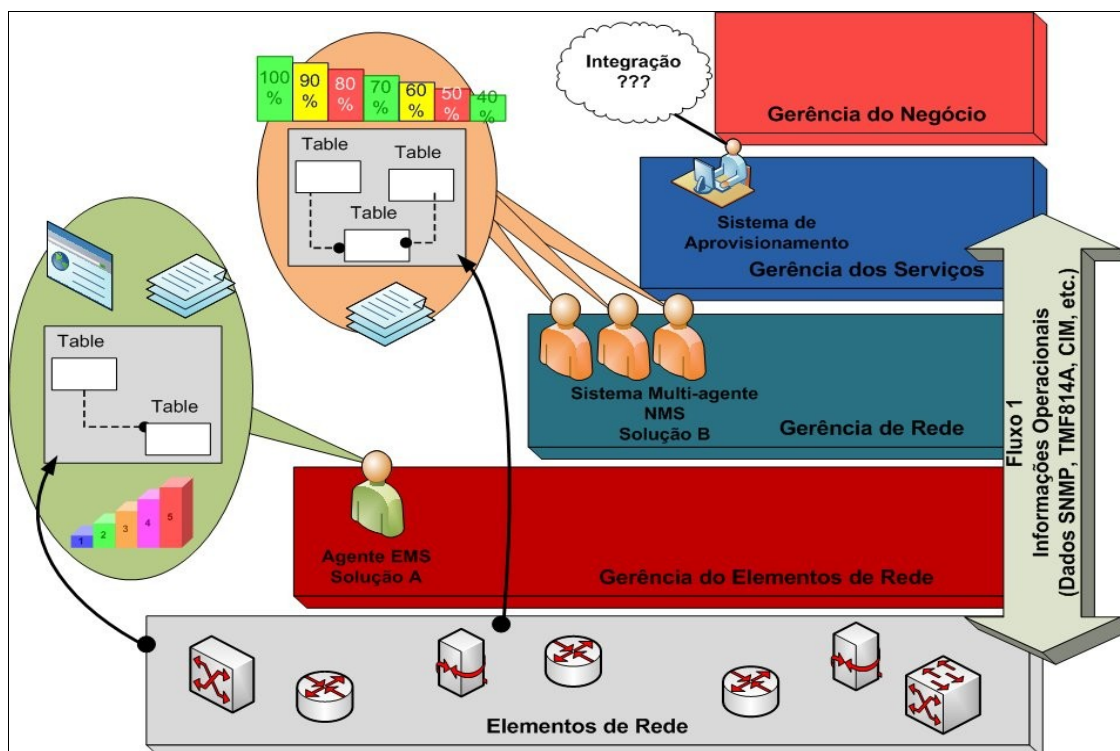


Figura 17: Típico Ambiente de Autogerenciamento

Além disso as Entidades de Gerência desconhecem a existência umas das outras, bem como desconhecem a possibilidade de interferência mútua. O Fluxo 1 (Informações Operacionais) (Figura 17) representa a troca de informações entre as entidades de gerência e os elementos (de rede) gerenciados. Trata-se dos atuais padrões e protocolos de gerenciamento. Cada uma das atuais entidades de gerenciamento opera e interpreta esses dados conforme seus próprios modelos conceituais e estratégias de ação. Essa falta de integração, em seus diversos níveis, provoca as denominadas Ilhas de Informação, conforme apresenta Izza, Vicente e Burlat (2005). Qualquer entidade que queira interagir com as demais em operação precisa de um modelo de integração que, na maioria das vezes, se resume apenas à integração dos modelos de dados, cuja semântica, na maioria das vezes implícita, dificulta a autonomia e a flexibilidade dessas soluções de software (IZZA; VICENTE, BURLAT, 2005).

Em resumo, as contribuições para o autogerenciamento, apresentadas na seção 3.4 do Capítulo 3, esbarram em um ponto fundamental: entidades (agentes ou ferramentas) de gerência, planejadas e construídas por diferentes autores (heterogêneas), não são capazes de compartilhar um ecossistema e cooperar para alcançar seus objetivos.

5.2.3 Os Gaps Existentes

O trabalho de Jennings e outros (2009) resume bem os desafios do Autogerenciamento (descrito no parágrafo anterior) para as Redes do Futuro (no caso do artigo, Internet do Futuro). Os desafios a serem vencidos para se alcançar o que eles chamaram de seu vislumbre (“*visions*”) da Gerência das Redes do Futuro são:

i. Metagerenciamento Federado;

Flexibilidade para a criação de organizações (comunidades) de gerenciamento, conforme necessidade do Serviço (requisitos), não dos domínios administrativos (delimitação por prestador de serviço). Isso representa uma crítica aos trabalhos com organização fixa ou baseada apenas em um domínio administrativo.

ii. Mapeamento Semântico Federado;

Compartilhamento de informações semânticas entre as entidades federadas de gerenciamento, garantindo a interoperabilidade fim-a-fim.

iii. Monitoramento Fim-a-Fim do Nível de Serviço (SLA – *Service Level Agreement*);

Visão do provisionamento e gerenciamento de Serviços fim-a-fim, independente da divisão de responsabilidades (Federação).

iv. Configuração de Rede Orientada a Necessidades do Negócio (*Business-Driven*) (tradução nossa);

Configurações orientadas ao negócio (objetivos do negócio). Tradução de objetivos de negócio para configurações de rede.

v. Reusabilidade do Autogerenciamento, e;

Permitir a reusabilidade de algoritmos, estratégias e técnicas de gerenciamento, independentemente de tecnologias ou sistemas específicos.

vi. Autogerenciamento Multicoordenado (tradução nossa);

Possibilidade de existirem hierarquias de gerenciamento independentes. Porém, existindo cooperação entre elas para a satisfação dos objetivos do usuário.

Independentemente das questões da Gerência Federada e da Orientação ao Negócio do Usuário, observa-se que os desafios **i**, **ii**, **v** e **vi** apontam, com maior ou menor ênfase, para uma mesma questão essencial, que pode ser aproximada à questão:

como facilitar a criação de sistemas de Autogerenciamento capazes de formar um ecossistema?

Jennings e outros (2009) apontam o *Policy-based Network Management*, Ontologia e *Business-Driven Networks* como potenciais técnicas para se superar os desafios do gerenciamento das Redes do Futuro.

Contribuições como as de Villagra e outros (2003), Vergara e outros (2003) e Gaglio e outros (2004), que buscam criar um vocabulário comum para os aspectos operacionais da gerência de redes, não permite que entidades de gerenciamento tenham um entendimento mais concreto e compartilhado do ambiente em que estão inseridos, dificultando a criação do ecossistema. Essa abordagem passa muito longe de atacar efetivamente algum dos desafios descritos anteriormente.

Embora existam trabalhos no campo do Autogerenciamento que empreguem os elementos técnicos defendidos nesta tese - como Hochstatter e outros (2008); Uszok e outros (2008) e Serrano, Strassner e Foghlu (2009) – os esforços não estão sendo feitos na direção da descrição e compartilhamento de um ambiente de autogerenciamento. Na verdade, as atuais contribuições se concentram na

construção de ontologias para a descrição formal de alguns aspectos e técnicas de gerenciamento, ainda assim com pouca ênfase no compartilhamento, na interoperabilidade e no reúso. Assim, as contribuições analisadas estão mais próximas do desafio **v**, conforme Jennings e outros (2009), embora não cheguem a atacá-lo diretamente.

O trabalho de van der Ham e Dijkstra (apud VAN DER HAM et al., 2007), *Network Description Language* (NDL), está associado ao desafio **ii**, conforme Jennings e outros (2009). Entretanto, a proposta de van der Ham e Dijkstra (apud VAN DER HAM et al., 2007) não possui compromissos com o Autogerenciamento, abrindo mão de técnicas que permitem um maior uso de inteligência e autonomia nas soluções que a utilizem.

5.2.4 A Lacuna a Ser Preenchida

Como resposta ao problema proposto, esta tese identifica que alguns dos fatores determinantes para a criação de um ecossistema de Autogerenciamento são a interoperabilidade e o reúso. Entretanto, a interoperabilidade deve ser não só no nível sintático (integração sintática), mas no nível semântico (integração semântica), conforme ZHOU e outros (2010). Essa chamada interoperabilidade semântica representa o desafio **ii**, formulado por Jennings e outros (2009), que serve como base para a futura solução dos desafios **i**, **v** e **vi**. Neste trabalho, no contexto do autogerenciamento de redes de telecomunicações, interoperabilidade semântica representa:

- A) entendimento comum sobre o ambiente gerenciado (rede, serviços, etc.);
- B) compartilhamento de informações de gerência (elementos e objetos gerenciados, protocolos, modelos de dados seus significados); e
- C) capacidade das Entidades de Gerência informarem suas ações e serem informadas das ações dos outros.

A lacuna a ser preenchida é a de se promover a interoperabilidade semântica como forma de se estabelecer o ecossistema de autogerenciamento de uma rede, tendo

como principal foco o compartilhamento de informações sobre a própria rede, sobre as entidades de gerenciamento presentes e sobre os processos de gerência em andamento.

5.2.5 A Contribuição Pretendida

As contribuições pretendidas por esta tese são no sentido de oferecer ao campo do Autogerenciamento uma solução que facilite a criação de sistemas autogerenciáveis, dotados de uma visão conceitual compartilhada (comum). Isso se dá através do compartilhamento de informações e modelos semânticos a respeito do ecossistema de gerenciamento.

Especificamente, as contribuições pretendidas neste trabalho são:

- **Contribuição 1:** proposição de uma arquitetura de suporte ao Autogerenciamento, cujo principal objetivo é fornecer serviços semânticos para contemplar a interoperabilidade semântica e o reúso de modelos e ações de integração. A arquitetura é especializada para a Gerência de Redes de Transporte, conforme visão da ITU-T G.805, contemplando o aspecto **A) - entendimento comum sobre o ambiente gerenciado** (especificamente para redes de transporte);
- **Contribuição 2:** criação de uma Ontologia Computacional baseada na recomendação ITU-T G.805, como solução para a interoperabilidade e reusabilidade das informações semânticas sobre a rede gerenciada, dando suporte direto aos serviços oferecidos pela arquitetura proposta.
- **Contribuição 3:** especificação, independente de tecnologia, do Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte, elemento funcional mais relevante da arquitetura proposta;

5.3 PROPOSTA – UMA ARQUITETURA DE SERVIÇOS SEMÂNTICOS PARA ECOSSISTEMAS DE AUTOGERENCIAMENTO DE REDES

Como elemento principal da **Contribuição 1**, esta tese propõe uma arquitetura para sistemas de autogerenciamento onde estão inseridos serviços baseados em informações semânticas que versam sobre o ecossistema de Gerência de Redes. O elemento funcional provedor desses serviços semânticos deve auxiliar às Entidades de Gerenciamento, fornecendo uma visão comum e bem definida do ambiente, bem como das técnicas, protocolos e estratégias de gerenciamento disponíveis ou em uso naquele ambiente.

O cerne dos serviços semânticos prestados é uma ontologia capaz de representar os elementos de uma rede, suas funções, seus relacionamentos e padrões, permitindo o raciocínio lógico sobre eles. Esta ontologia ajuda a estabelecer a visão coletiva necessária ao ecossistema de Autogerenciamento, servindo como ponto de partida para futuras extensões.

5.3.1 A Visão de Alto Nível da Arquitetura Proposta

A Figura 18 ilustra os elementos da arquitetura proposta. Nela são identificados:

1. **Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes (PSSGR)** (bloco vertical mais à esquerda): é o elemento principal dentro da arquitetura proposta. Seu papel é assumir a mediação semântica entre as entidades participantes do ecossistema, assumindo grande parte da responsabilidade pela interoperabilidade. Para isso, um segundo fluxo de informação (Fluxo 2 – parte superior esquerda da Figura 18) é criado, permitindo que as informações e serviços semânticos fluam. O PSSGR é, em essência, um *framework* de guarda, recuperação e inferência de informações semânticas. Seu cerne é um conjunto de ontologias do Domínio de Redes e Gerência de Redes. O PSSGR será detalhado nas seções subseqüentes.

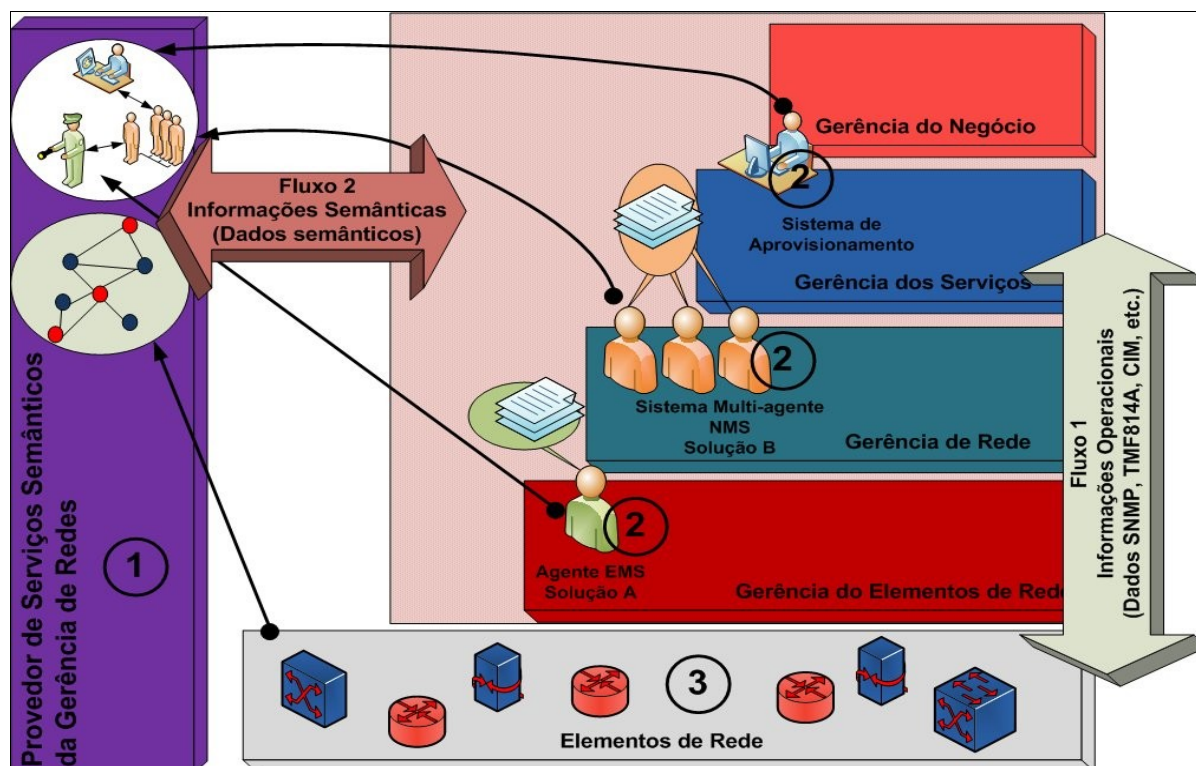


Figura 18: Proposta de Arquitetura de Autogerenciamento com Suporte a Serviços Semânticos

2. **Entidades de Gerência com Suporte aos Serviços Semânticos (EG3S):** cada qual em sua camada de atuação dentro da pirâmide TMN, representam a classe de entidades de Autogerenciamento que conseguem consumir os serviços do Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes (Fluxo 2 - parte superior esquerda da Figura 18). Diferem das Entidades de Gerência Convencional (**EGC**) por abrirem mão de uma representação exclusiva e proprietária do ambiente gerenciando. Passam a utilizar os serviços semânticos oferecidos pelo PSSGR, constituindo e habitando um ecossistema de Autogerenciamento. Entretanto, essas entidades podem manter sua troca de informação de gerência convencional junto aos elementos (equipamentos) da rede (Fluxo 1 – lateral direita da Figura 18);
3. **A Rede:** camada onde estão os elementos físicos de uma rede (equipamentos, placas, funções, etc.). Nela ocorre a coleta de Dados Operacionais e a inserção de comandos, ações que efetivamente modificam a realidade de operação da Rede (Fluxo 1 – lateral direita da Figura 18).

Observa-se também na Figura 18 que as entidades de gerenciamento ainda podem ter seus próprios algoritmos, modelos conceituais e modelos de dados. Porém, essa necessidade se torna menor (se comparado a um típico sistema de autogerenciamento, Figura 17), servindo a propósitos mais específicos e ligados diretamente às habilidades ou objetivos dessas entidades.

Identifica-se que o **PSSGR** é o principal elemento funcional da arquitetura proposta, sendo responsável direto pelas contribuições pretendidas por esta tese. Dentre suas habilidades destaca-se sua capacidade de lidar com inferências lógicas, além da missão de prover serviços capazes de descrever o ecossistema. O **PSSGR** não é uma entidade autônoma, não sendo provido de mecanismos suficientes para assumir o papel de mediador de conflitos, planejador de ações ou supervisor de tarefas. Em outras palavras, ele é um coadjuvante das ações tomadas dentro do sistema de autogerenciamento, atuando como um recurso facilitador da operação das **EG3S**.

Por outro lado, as **EG3S** são elementos funcionais que representam as entidades de gerenciamento oriundas de quaisquer iniciativas de Autogerenciamento, desde que sejam capazes de consumir os serviços semânticos fornecidos pelo **PSSGR**. Os **EG3S** são os atores principais das ações de gerenciamento. Eles utilizam os serviços semânticos para que sejam capazes de elaborar ações que, posteriormente, serão executadas sobre a **Rede**. Caso uma Entidade de Gerenciamento Convencional (**EGC**) qualquer não esteja preparada para operar dentro da arquitetura proposta, ela manterá uma baixa integração com o ecossistema, possivelmente através das abordagens convencionais que utilizam o conhecimento prévio de algum modelo de dados e processos de gerenciamento (Fluxo 1 – lateral direita da Figura 18).

5.3.2 Organização Geral da Ontologia de Suporte

Todo o potencial da arquitetura proposta gira em torno de sua capacidade de oferecer informações semânticas de uso geral (abrangente) para as entidades do

ecossistema de gerência. Essa abordagem proporciona a interoperabilidade semântica pretendida nesta proposta.

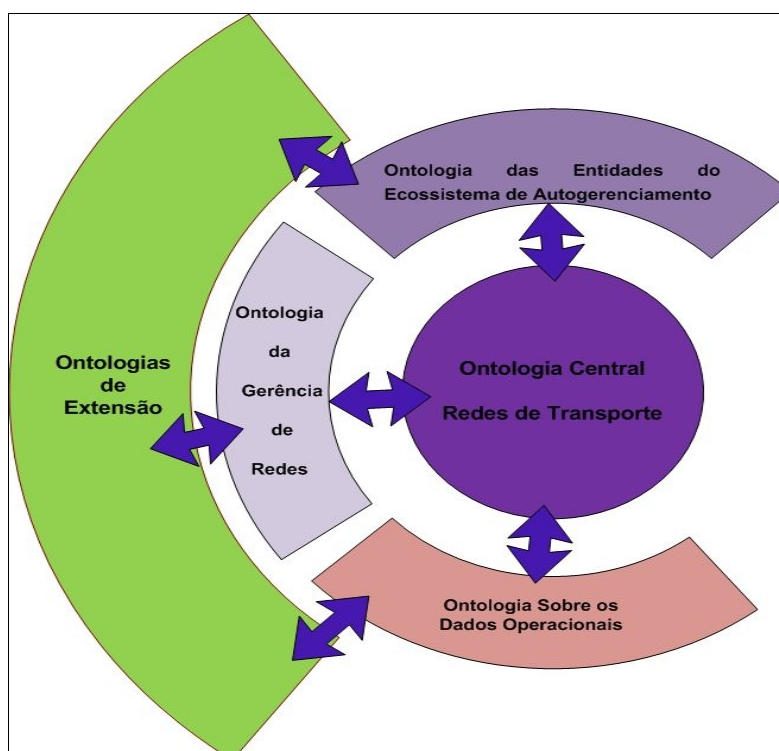


Figura 19: Estrutura da Informação Semântica

Com o estabelecimento de uma **Ontologia Central** ao Domínio, extraída da conceituação mais básica a respeito das Redes de Telecomunicação, cria-se a possibilidade de compartilhamento de informações comuns a todas as entidades do ecossistema. Também se torna possível a criação de extensões (reúso), acrescentando conceitos cada vez mais complexos e mais úteis a determinado grupo de entidades de gerenciamento. O uso de ontologias fornece os requisitos necessários e suficientes à interoperabilidade e reúso, conforme observa-se nos trabalhos de Fernandes e outros (2010), Izza Vicente e Burlat (2005) e Zhou e outros (2010).

A Figura 19 apresenta uma visão de como é proposta a estrutura de organização da informação semântica dos Domínios de Redes e Gerência de Redes para se alcançar as características descritas anteriormente. A **Ontologia Central** (círculo central, roxo) deve representar os conceitos básicos de uma Rede de Telecomunicações (neste trabalho a representação será restrita a uma Rede de Transporte, conforme seção 5.3.4), servindo como ponto de partida para quaisquer outras visões e modelos adicionais.

Outras três extensões são de fundamental importância para a formação do ecossistema de autogerenciamento:

- **Ontologia das Entidades do Ecossistema de Autogerenciamento:** descreve um modelo conceitual sobre as entidades que participam de um ecossistema de autogerenciamento. Esse modelo contempla a relação de cada entidade com as camadas tecnológicas de uma rede de telecomunicações e seu papel desempenhado quanto às ações e processos de gerência;
- **Ontologia da Gerência de Redes:** descreve o modelo conceitual sobre as áreas funcionais da gerência de redes, as disciplinas de gerenciamento (descoberta, bilhetagem, monitoramento, correlação de alarmes, etc.) e todos os conceitos gerais não dependentes de tecnologia (conforme Capítulo 2);
- **Ontologia Sobre os Dados Operacionais:** descreve o modelo conceitual dos protocolos, modelos de informação, mensagens e demais aspectos tecnológicos da gerência de redes (ainda conforme Capítulo 2);

Observando-se a Figura 19, vê-se ainda que algumas extensões (Ontologias de Extensão, em verde – lado esquerdo da figura) podem ser incorporadas conforme necessidade de acréscimo de conceitos e consenso sobre eles. Essa extensão pode se dar tanto em relação à Ontologia Central quanto à suas derivadas (ontologias derivadas).

O presente trabalho se propõe apenas a desenvolver a Ontologia Central como forma de avaliar a abordagem proposta. As demais ontologias são mencionadas ao longo deste trabalho como artefatos hipotéticos e passíveis de desenvolvimento, seguindo-se o mesmo processo descrito no Capítulo 4, seção 4.3. A modelagem conceitual e a implementação (de uma versão especializada em Redes de Transporte) da Ontologia Central são apresentados na seção 5.4.

5.3.3 As Vantagens e Desvantagens da Abordagem Proposta

O uso de serviços semânticos para Gerência de Redes, através da arquitetura proposta, evidencia uma mudança de paradigma com relação à representação e interpretação do ecossistema gerenciado. As entidades de gerenciamento passam a compartilhar um modelo semântico sobre a rede e sobre o próprio processo de gerenciamento.

Essa abordagem traz as seguintes vantagens:

- reduzir a necessidade de representações proprietárias e exclusivas, facilitando a interoperabilidade das entidades de autogerenciamento;
- possibilitar que uma entidade específica (PSSGR) gerencie as informações semânticas sobre o ecossistema, mantendo uma base única, atualizada, passível de consultas e de novas atualizações;
- permitir a agregação de novas visões conceituais sobre o ecossistema de gerenciamento, através da extensão formal e coerente da Ontologia Computacional Central;
- permitir o uso de inferência lógica como um serviço do ecossistema e não como uma exigência estrutural (construtiva) da Entidade de Gerência;
- garantir maior segurança de acesso e integridade na manipulação de informações semânticas compartilhadas;
- aumentar a consciência de cada Entidade de Gerências sobre seu papel e os dos demais habitantes dentro do ecossistema de Gerência de Redes;
- facilitar a criação de soluções de autogerenciamento, onde a heterogeneidade seja um fator preponderante.

Por outro lado, algumas desvantagens passam a existir com relação ao modelo tradicional (Figura 17), a saber:

- criação de um segundo fluxo de comunicação (Fluxo 2 – Informações Semânticas, Figura 18) que deve trafegar sobre a rede de gerência (DCN);

- criação de um potencial ponto crítico de falha, o **PSSGR**;
- necessidade de convivência (com potenciais conflitos) entre entidades convencionais **EGC** e entidades com suporte aos serviços semânticos **EG3S**.

5.3.4 A Especialização da Arquitetura para Gerência de Redes de Transporte e o Escopo de Desenvolvimento da Proposta

Observa-se que a arquitetura proposta tem o potencial de demandar esforços em várias direções (discussão de modelos, padronização, linguagens, definição de protocolos de acesso ao serviço, etc.). Por isso, optou-se nesta tese por se fazer uma especialização dessa arquitetura para o microuniverso da Gerência de Redes de Transporte. Essa decisão levou à criação de uma especificação, independente de tecnologia, do Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte (PSSGRT). Embora algumas das especificações sejam úteis a outros microuniversos de gerenciamento, optou-se por concentrar o desenvolvimento das mesmas para a realidade das Redes de Transporte.

Como consequência das especificações do Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte foi criada uma Ontologia Central aderente à conceituação do domínio das Redes de Transporte. A recomendação da ITU-T G.805 é utilizada como base dessa modelagem conceitual e posterior implementação. A ontologia criada procura cobrir a declaração dos principais termos e relacionamentos destacados na recomendação G.805. Sua capacidade de permitir inferência lógica é trabalhada até o ponto em que os principais serviços especificados para o PSSGRT são satisfeitos.

Diante das várias abordagens e tecnologias candidatas à implementação, além do desafiador esforço de modelagem conceitual do domínio de Redes de Transporte, optou-se por não se criar uma implementação de referência para o PSSGRT. Uma implementação de referência implica em uma discussão mais aprofundada sobre tendências tecnológicas e as experiências de implementação no campo do autogerenciamento. Entretanto, uma implementação experimental é proposta no Capítulo 6, tendo como objetivo demonstrar que, independente de padrões, técnicas

e da abrangência das especificações, o PSSGRT é capaz de responder ao desafio para o qual foi proposto. Embora a implementação experimental (Capítulo 6) não apresente todos os serviços e funcionalidades especificados, ela demonstra como uma Entidade de Gerência no papel de uma EG3S pode ser construída e que resultados podem ser obtidos.

5.4 A ONTOLOGIA COMPUTACIONAL DAS REDES DE TRANSPORTE - ITU-T G.805

Por conta da especialização da arquitetura proposta, faz-se necessário expressar o domínio das Redes Ópticas de Transporte através de uma Ontologia Computacional. Essa ontologia ocupará a posição central, descrita na seção 5.3.2, Figura 19, e representa a **Contribuição 2**.

Como foi antecipado no Capítulo 4, a recomendação ITU-T G.805 serviu como fonte para a criação de uma ontologia sobre redes de transporte. Como uma descrição funcional abstrata e genérica, ela é capaz de descrever outras tecnologias, como: ATM, SDH, *Plesiochronous Digital Hierarchy* (PDH) e OTN. Também apoia a descrição de outras recomendações que versem sobre a Gerência de Redes, Avaliação de Desempenho de Serviços de Transporte e Especificação Funcional de Equipamentos. Essas características tornam a ITU-T G.805 como uma excelente fonte de informação do domínio de discurso sobre a infraestrutura de uma Rede de Transporte. Além disso, como já foi mencionado, outros organismos, tais como o TMForum, já utilizam os conceitos da ITU-T G.805 na conceituação de suas normas e padrões. Esse é o caso da iniciativa TMF *Multi-Technology Network Management*, mencionada no Capítulo 2.

Pelos motivos apresentados anteriormente, a conceituação feita pela ITU-T G.805 foi escolhida como a Ontologia Central do Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte. Os resultados apresentado nesta seção são fruto do trabalho conjunto de Monteiro, Barcelos, Guizzardi e Garcia (2009). Entretanto, o foco desta tese é a aplicação da ontologia ITU-T G.805 na arquitetura proposta. Para o propósito aqui pretendido, o texto a seguir apresenta o modelo obtido através

de seus aspectos mais relevantes para a descrição dos serviços fornecidos pelo PSSGRT.

5.4.1 Visão Geral do Modelo Conceitual

O Modelo Conceitual da ITU-T G.805 é baseado no documento da recomendação, tendo como escopo os termos, conceitos e relacionamentos propostos pelo mesmo. Além das questões inerentes à proposta do ITU-T G.805 (Componentes Topológicos, Entidades de Transporte e Pontos de Referência), são propostas as seguintes Questões de Competência (SABiO), essenciais para um serviço básico de provisionamento de conexões (enlaces), conforme requisitos da implementação experimental:

- I. **Como se dá a dependência entre as Conexões de Rede de Camadas Tecnológicas diferentes?**
- II. **Numa dada camada, como determinar se existe um caminho provisionado entre dois pontos terminais, que dá suporte a uma Conexão de Rede?**
- III. **Existindo um caminho entre dois pontos terminais, quais são os elementos que o compõem?**

A modelagem conceitual da recomendação ITU-T G.805 é dividida em partes, facilitando a leitura. Os submodelos gerados são:

- **Modelo Principal (*Main Model*):** para a ligação entre camadas e seus componentes;
- **Modelo para o Lado Fonte da Rede (*Source Model*):** onde são representadas as ligações entre os componentes TTFs e AFs;
- **Modelo para o Lado Destino da Rede (*Sink Model*):** análogo ao lado fonte;
- **Modelo dos Pontos de Referência (*Reference Points Model*);** e

- **Modelo das Entidades de Transporte (*Transport Entities*).**

5.4.1.1 O Modelo Principal

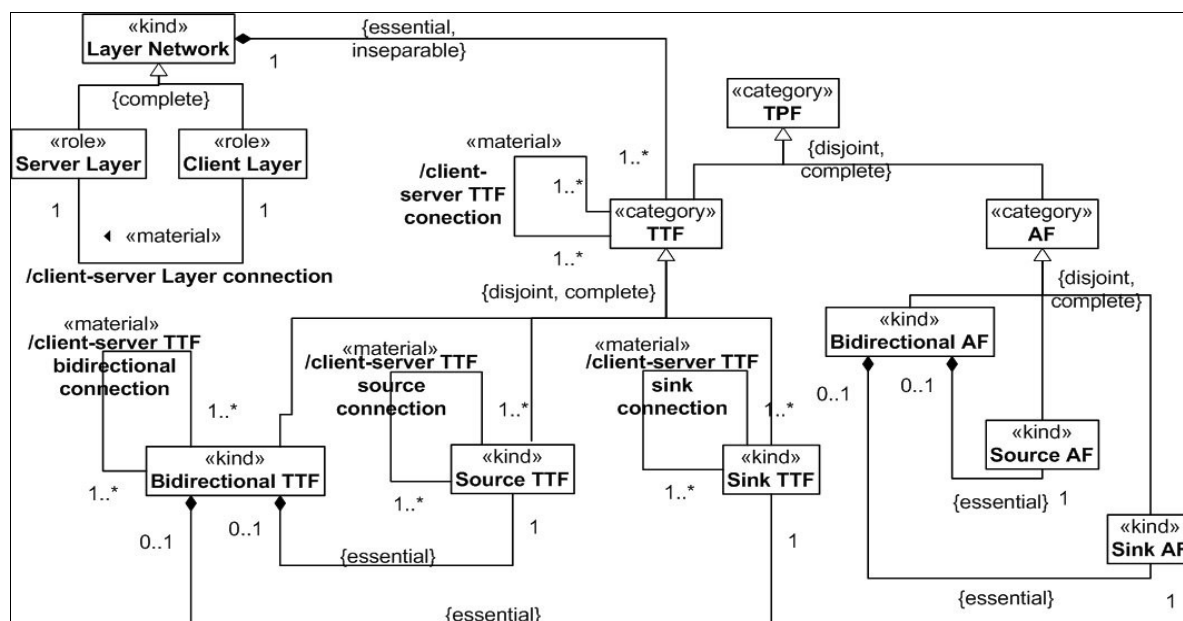


Figura 20: Modelo Principal (*Main Model*)

O Modelo Principal (*Main Model*), mostrado na Figura 20, captura a ideia de relacionamento Cliente-Servidor entre as camadas tecnológicas de uma rede de transporte. Além disso, estabelece a relação entre as Funções de Processamento de Transporte (*Adaptation Function* – AF e *Trail Termination Function* - TTF) que proporcionam suporte à relação Cliente Servidor. As espécies («*kinds*») de TTFs foram agrupadas em uma categoria («*category*»), uma vez que a direcionalidade os conferia diferentes princípios de identidade. Em outras palavras, TTFs origem (*Source TTF*) são espécies diferentes de TTFs destino (*Sink TTF*) e de TTFs bidirecionais. O mesmo raciocínio se aplica aos AFs.

Ainda na Figura 20, é possível notar que as relações materiais («*material*»): */client-server Layer connection*, */client-server TTF connection*, */client-server TTF bidirecional connection*, */client-server TTF source connection* e */client-server sink TTF connection*; estão associadas aos Pontos de Referência (ocultos nessa visão do modelo) que vinculam entradas e saídas das funções de processamento de transporte e mediam essa relação.

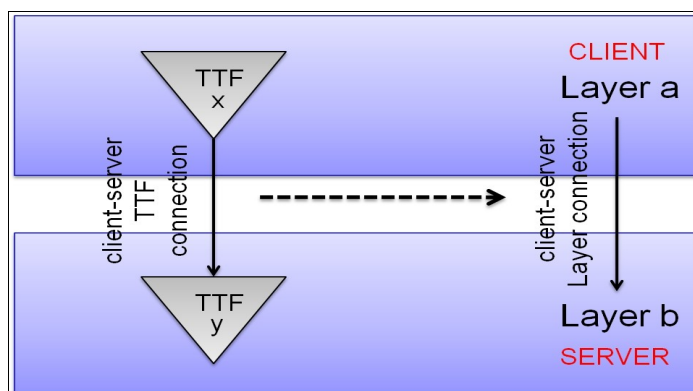


Figura 21: Relação Cliente-Servidor Entre Camadas

A espécie camada (*Layer*) pode assumir dois papéis (*<<role>>*): cliente e/ou servidor. A Figura 21 mostra, através de uma simplificação da linguagem visual da ITU-T G.805, que a relação cliente-servidor entre duas camadas acontece quando diferentes instâncias da espécie TTF estão conectados. Isso implica na dependência existencial entre a camada e o TTF. Ou seja, um TTF é parte essencial de uma camada. A regra lógica descritiva (RLD) 5.1 formaliza tal situação:

$$\forall a, b, x, y \text{ Layer}(a) \wedge \text{Layer}(b) \wedge \text{TTF}(x) \wedge \text{TTF}(y) \wedge \text{isPartOf}(x,a) \wedge \text{isPartOf}(y,b) \wedge \text{client-server TTF connection}(x,y) \rightarrow \text{client-server Layer connection}(a,b) \quad \text{RLD (5.1)}$$

5.4.1.2 Os Modelos do Lado Fonte e do Lado Destino

São modelos complementares que mostram como as Funções de Processamento (definidas como espécies) podem se conectar, tanto no lado fonte/origem, quanto no lado destino. A Figura 22 mostra que um *Source TTF* (por exemplo) possui saídas (**Source TTF Output**) e entradas (*Source TTF Input*). O mesmo ocorre para um *Source AF*, *Sink TTF* e *Sink AF*.

A Figura 22 também antecipa informações sobre os Pontos de Referência, uma vez que apresenta os conceitos *Source AP*, *Sink AP*, *Source TCP* e *Source TCP* modelados como *Relators*.

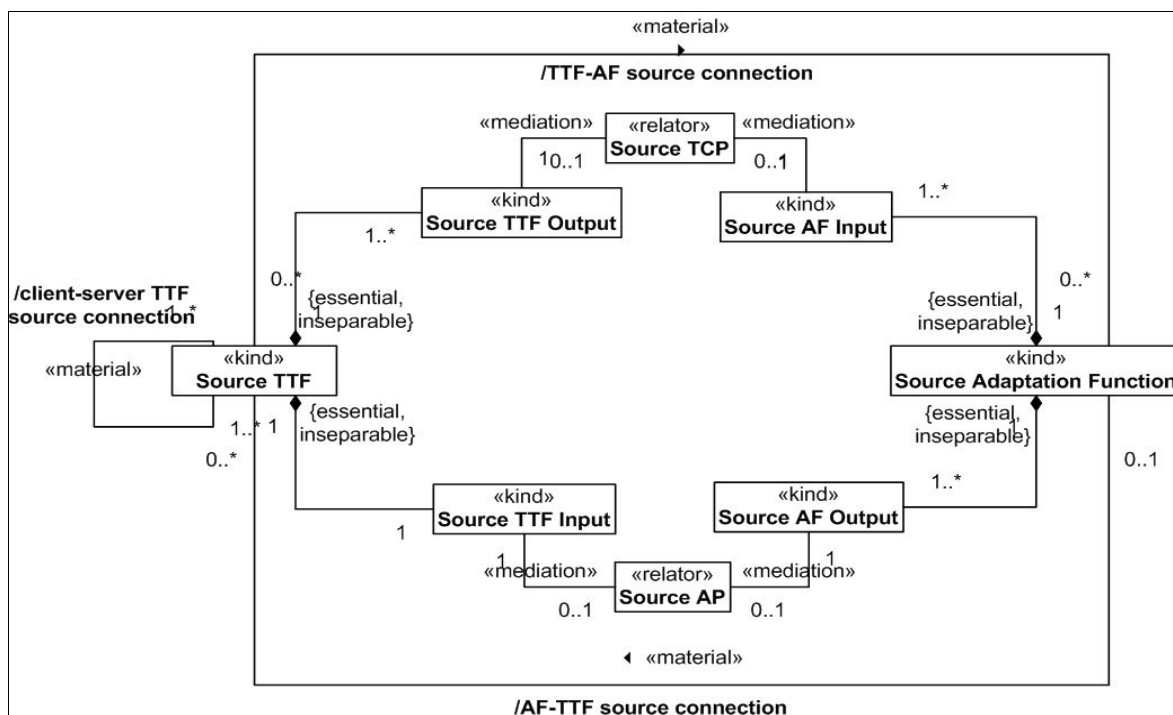


Figura 22: Modelo das Funções de Processamento

A Figura 23 mostra, através de símbolos, os casos permitidos para a ligação entre entidades que representam Funções de Processamento de Transporte. Essa ligação cria entre as entidades uma relação formal chamada de *TTF-AF source* (ou *sink*) *connection*. Nesta situação foram utilizadas regras lógicas descritivas adicionais para eliminar as abstrações de domínio que são diferentes dos casos permitidos A, B e C (conforme a Figura 23).

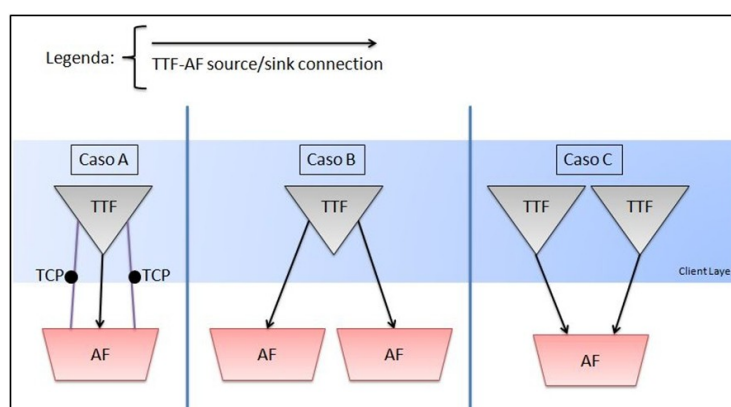


Figura 23: Modelo Visual da Ligação Entre as Funções de Processamento

5.4.1.3 Modelo dos Pontos de Referência

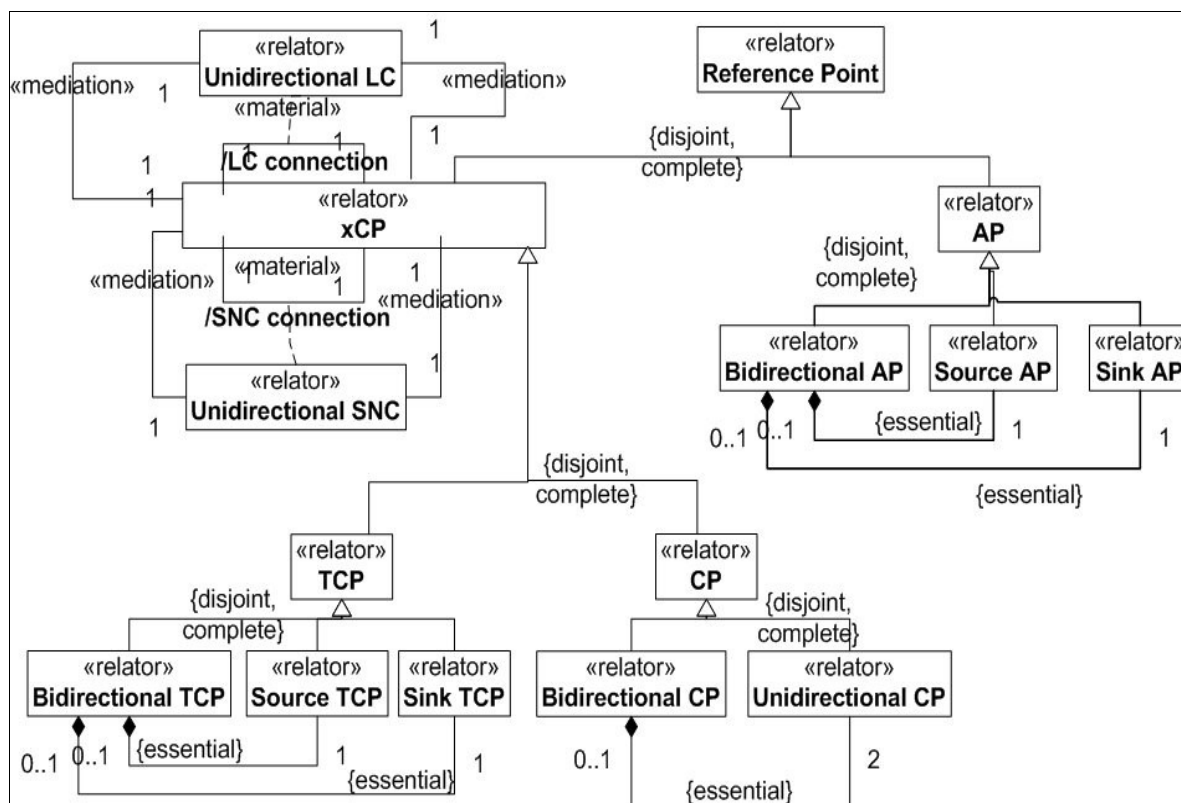


Figura 24: Modelo dos Pontos de Referência

Os Pontos de Referência capturam o conceito de ligação entre portas de entrada e saída (*Input/Output*) de algumas entidades do modelo. Por se materializarem, com características próprias, apenas depois que um vínculo ocorre entre duas outras entidades, eles foram modelados como *Relators*, conforme apresenta a Figura 24. Vale ressaltar que a questão da direcionalidade também está presente nesse modelo. Ela se materializa através da distinção entre entidades *Source*, *Sink* e Bidirecionais.

A Figura 25 mostra, através de símbolos, que a existência dos Pontos de Referência possibilita a criação de Entidades de Transporte (ITU-T G.805). Esse é o caso da relação *source-sink Trail connection*, que pode acontecer entre dois APs (um source e outro sink), pertencentes à uma mesma camada.

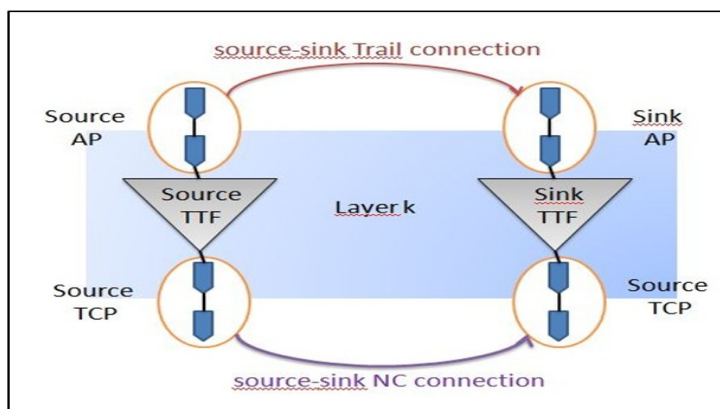


Figura 25: Modelo Visual da Relação Entre Pontos de Referência e Conexões

A Figura 26 mostra a relação formal *sink-source CP connection* criada entre dois AFs que são mediados por um *Connection Point (CP)*.

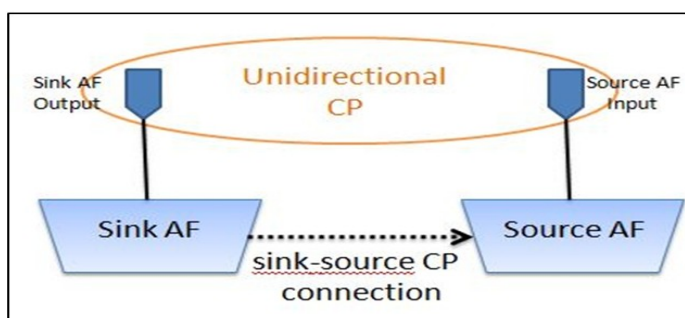


Figura 26: Modelo Visual do Connection Point

5.4.1.4 Modelo das Entidades de Transporte

São entidades que capturam o conceito da ligação (conexão) horizontal entre os Pontos de Referência de uma mesma camada tecnológica e definem a capacidade de comunicação entre esses pontos. A Figura 27 mostra que as entidades de transporte (*Transport Entity*) foram modeladas como *Relators* (`<<relator>>`), uma vez que possuem características próprias, mas são existencialmente dependentes do vínculo (conexão) entre dois Pontos de Referência. Percebe-se ainda que a direcionalidade é um conceito importante para a definição desse conjunto de entidades.

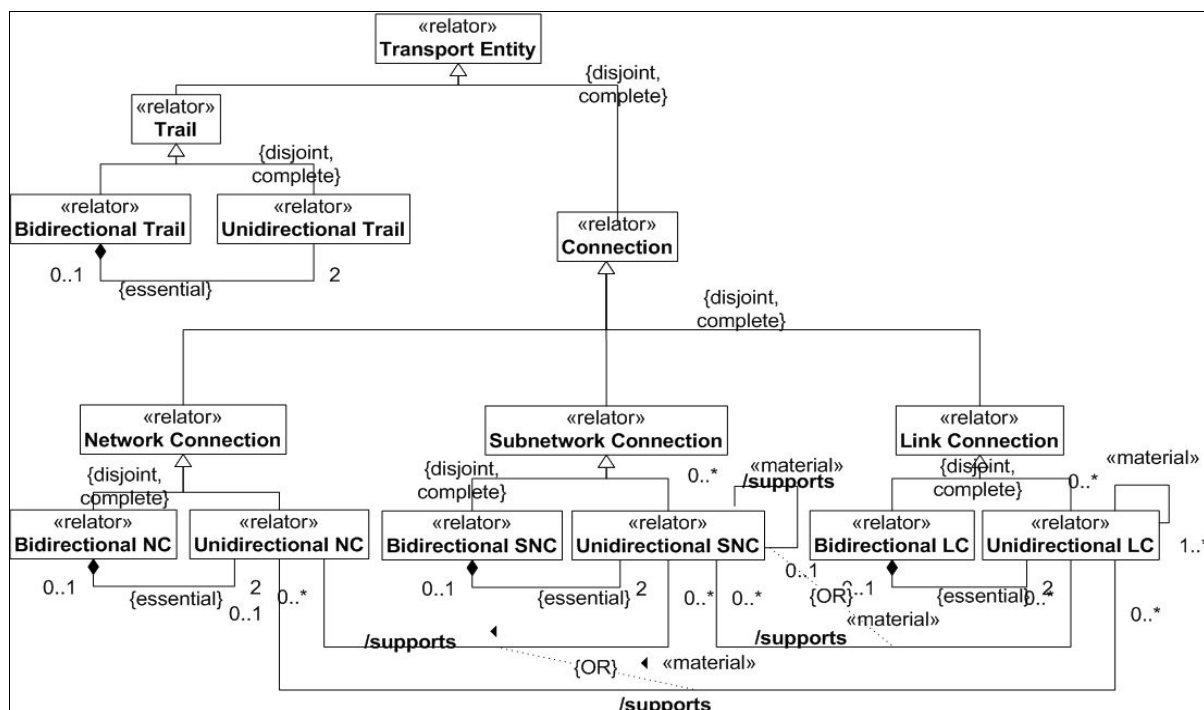


Figura 27: Modelo das Conexões

A Figura 28 exibe as relações formais, descritas através de regras lógicas descritivas adicionais, que estabelecem a dependência existencial genérica entre um *Trail* e um *Network Connection*. Um *Trail* de camada N só pode existir se existir algum *Network Connection* de camada N-1 que o suporte (considerando os mesmos pontos de origem e destino).

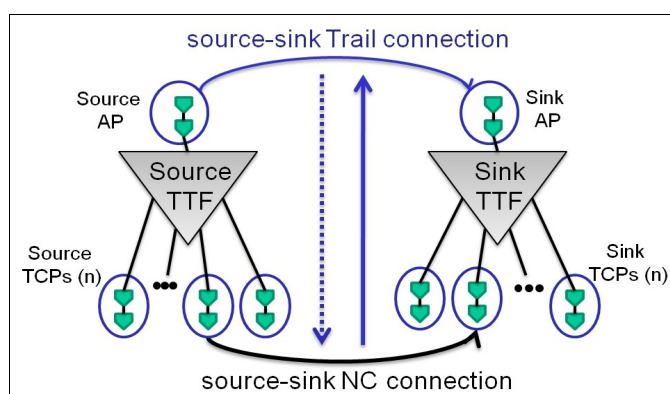


Figura 28: Modelo Visual da Relação Entre as Conexões de Camadas Diferentes

A regra lógica descritiva RLD 5.2, que aborda a questão de competência I (ver item 5.7.1), descreve essa dependência existencial entre uma *Network Connection* de

camada inferior e um *Trail* de camada superior. Em outras palavras, um *Trail* superior deve ser transportado por uma *Network Connection* inferior.

$$\begin{aligned} \exists a, b, x, y, x1, y1 \text{ Source TCP } (a) \wedge \text{ Sink TCP } (b) \wedge \text{ Source TTF } (x) \wedge \text{ Sink TTF } (y) \wedge \text{ Source TTF} \\ \text{Output } (x1) \wedge \text{ Sink TTF Input } (y1) \wedge \text{ isPartOf } (x1, x) \wedge \text{ isPartOf } (y1, y) \wedge \text{ mediates } (a, x1) \wedge \text{ mediates} \\ (b, y1) \wedge \text{ source-sink NC connection } (a, b) \leftrightarrow \exists! c, d, x2, y2 \text{ Source AP } (c) \wedge \text{ Sink AP } (d) \wedge \text{ Source TTF} \\ \text{Input } (x2) \wedge \text{ Sink TTF Output } (y2) \wedge \text{ isPartOf } (x2, x) \wedge \text{ isPartOf } (y2, y) \wedge \text{ mediates } (c, x2) \wedge \text{ mediates} \\ (d, y2) \wedge \text{ source-sink Trail connection } (c, d) \end{aligned} \quad (\text{RLD 5.2})$$

5.4.2 A Implementação da Ontologia e as Inferências Lógicas Obtidas

O modelo conceitual está implementado em OWL 2 e contou com o apoio da ferramenta Protegé-2000. Além disso, o modelo é acrescido de Regras Lógicas Descritivas, visando formalizar restrições e propor implicações que excedem a representatividade da OntoUML. Essas regras estão implementadas em SWRL e permitem a geração de inferências como as que são apresentadas a seguir.

5.4.2.1 Inferências Básicas

A seguir estão algumas das inferências obtidas através da descrição básica do modelo, conforme ilustram as Figuras 29 e 30. A Figura 29 mostra, através de símbolos visuais, a rede declarada (indivíduos descritos formalmente na ontologia: *Layers* – retângulos azuis, TTFs – Triângulos cinzas, AFs – trapézios rosas, Pontos de Referência – ovais laranja; e Conexões – curvas em roxo e vinho).

A Figura 30 mostra os demais indivíduos e relacionamentos inferidos a partir das descrições formais e regras lógicas descritivas do modelo. As inferências obtidas aqui responde à Questão de Competência I (seção 5.7.1).

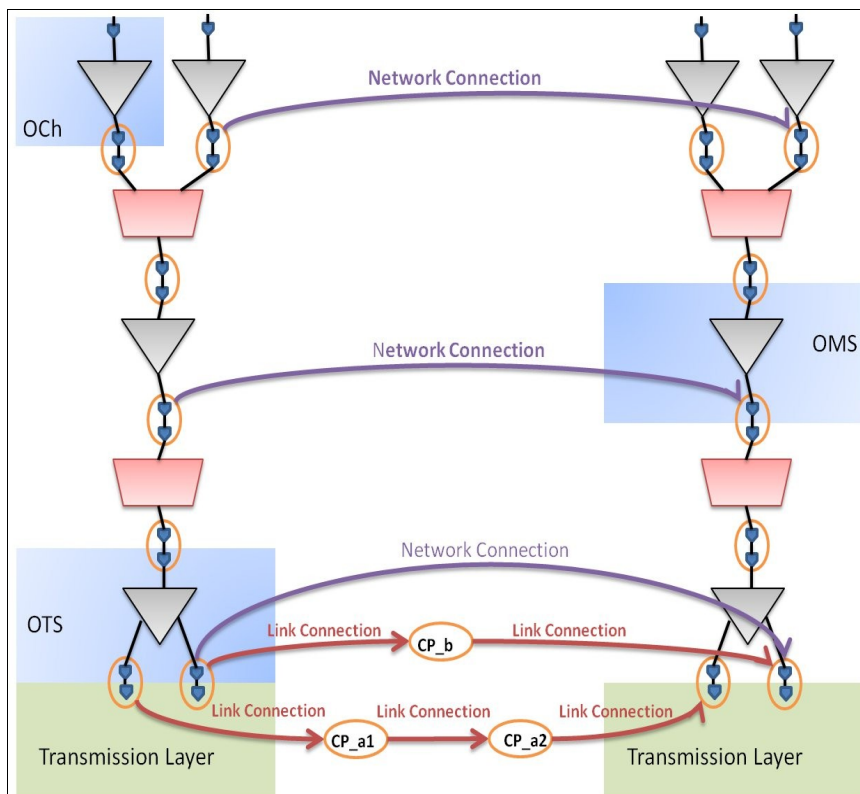


Figura 29: Rede Declarada

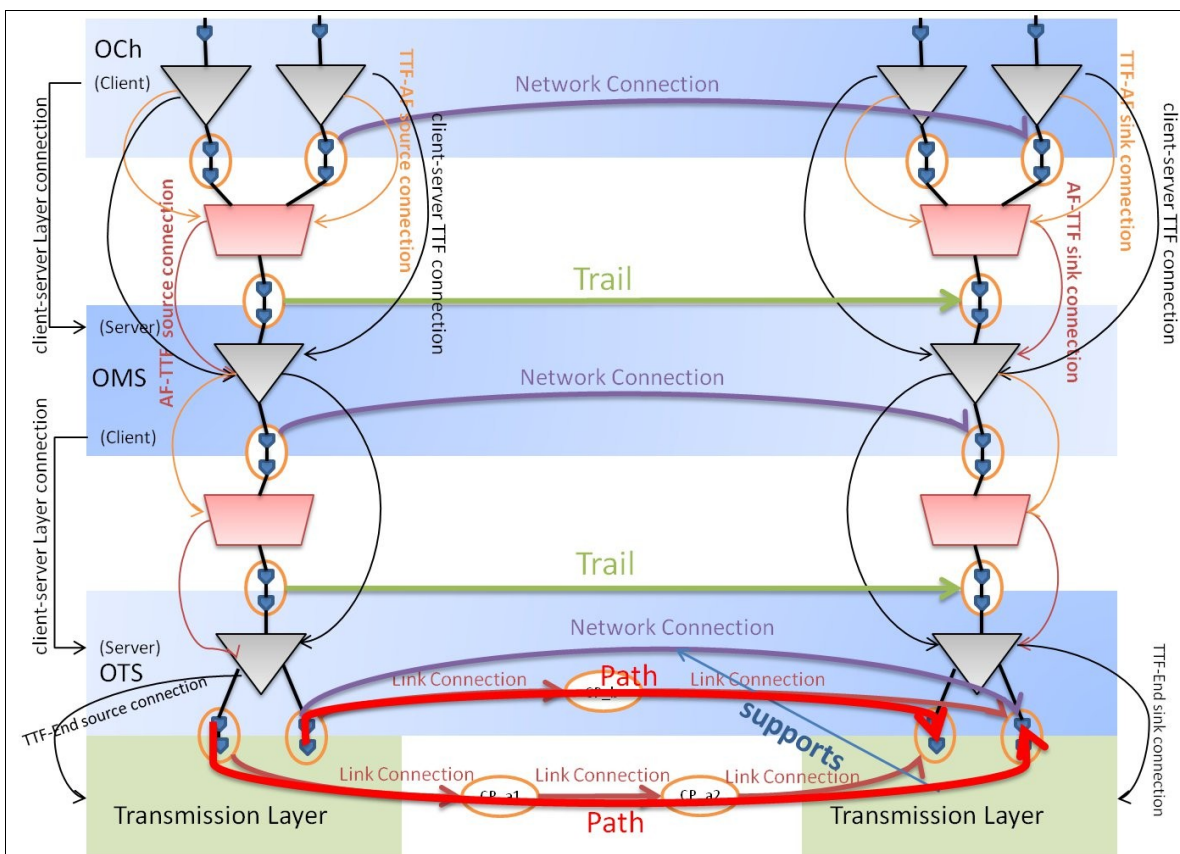


Figura 30: Rede Inferida

Foram inferidas as relações: cliente-server TTF connection (curvas, na cor escura, ligando pares de triângulos cinzas -TTFs); client-server Layer connection (retas, na cor escura, ligando pares de retângulos azuis claros – Layers); TTF-AF source/sink connection (curvas, na cor laranja, entre um par formado por triângulo cinza e trapézio rosa – TTF e AF); e AF-TTF source/sink connection (curvas, na cor vinho, entre um par formado por trapézio rosa e triângulo cinza – AF e TTF). Além disso, outra entidade de transporte foi inferida: *Trail* (reta espessa na cor verde claro - *Relator*). A entidade *Path* (curva vermelha ligando dois pontos de referência – ovais laranja) foi modelada para descrever a existência de um caminho ativo entre dois pontos de referência (do tipo TCP). Essa entidade depende existencialmente de uma *Network Connection*, relacionando-se com essa através da relação *Supports* (reta azul claro entre uma curva vermelha e uma curva lilás).

5.4.2.2 Inferências sobre a Conectividade Horizontal

As Questões de Competência II e III (seção 5.7.1) são respondidas através do conjunto de regras lógicas descritivas RLD 5.3 a 5.10, que permitem a verificação da existência de caminhos entre os Pontos de Referência de uma Rede de Transporte.

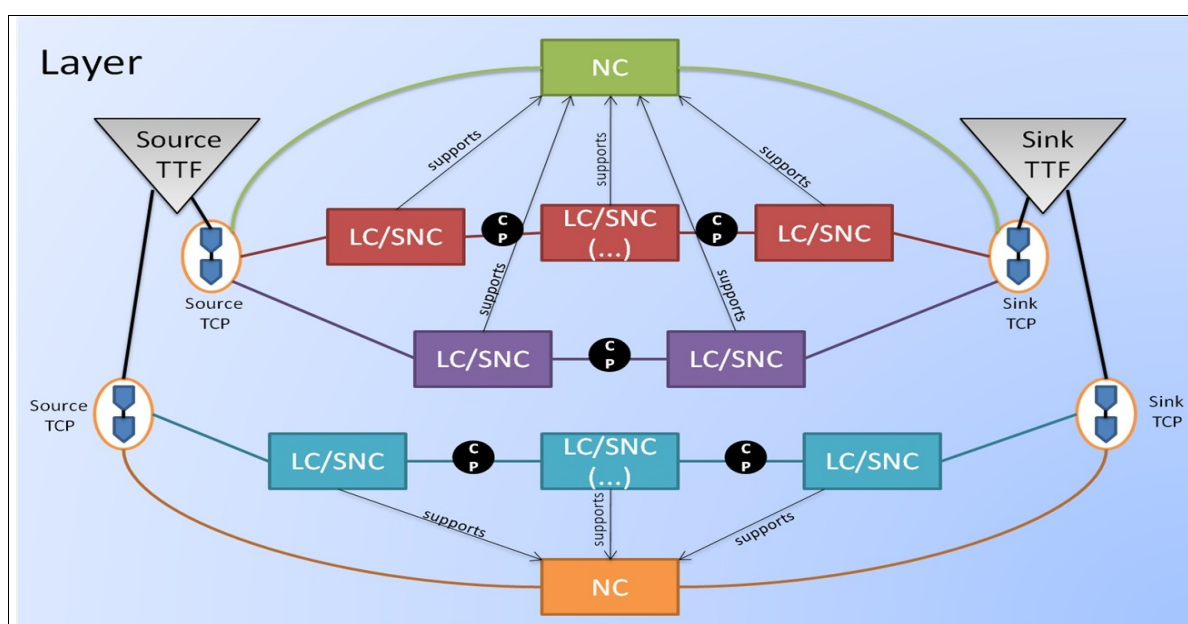


Figura 31: Inferência de Caminho

A Figura 31 mostra que, se é possível encontrar um caminho entre dois Pontos de Referência Terminais, através de determinadas entidades de transporte (*link / subnetwork connections*), é possível haver uma nova entidade de transporte (*network connection*) entre eles. Por consequência, um a caminho (*Path*) existe entre os TCPs que estão nas pontas (*Head*) dessa *Network Connection*.

A RLD 5.3 formaliza que uma entidade de transporte que faz parte do caminho (*Path Connection*) está diretamente conectada com um ponto de referência que também faz parte do caminho (*Path RP*) quando existe a relação de **mediação** (relação material) entre eles.

$$\forall x, y \text{ Path Connection } (x) \wedge \text{Path RP } (y) \wedge \text{mediates } (x, y) \leftrightarrow \text{directlyConnected } (x, y) \wedge \text{directlyConnected } (y, x) \quad (\text{RLD 5.3})$$

Observa-se que a RLD 5.4 formaliza que entidades diretamente conectadas (*directlyConnected*) fazem parte de um caminho, estando conectadas a todo o caminho (*pathConnected*).

$$\forall x, y \text{ Path Connection } (x) \wedge \text{Path RP } (y) \wedge \text{directlyConnected } (x, y) \leftrightarrow \text{pathConnected } (x, y) \quad (\text{RLD 5.4})$$

Já as RLDs 5.5 e 5.6 formalizam que não há a propriedade de transitividade na conexão de caminho (*pathConnected*) quando se trata dos pontos iniciais e finais desse caminho (*Head*).

$$\forall x, y, z \text{ Source TCP } (x) \wedge \text{Path Component } (y) \wedge \text{Path Component } (z) \wedge \text{pathConnected } (x, y) \wedge \text{pathConnected } (y, z) \rightarrow \text{pathConnected } (x, z) \quad (\text{RLD 5.5})$$

$$\forall x, y, z \text{ Sink TCP } (z) \wedge \text{Path Component } (x) \wedge \text{Path Component } (y) \wedge \text{pathConnected } (x, y) \wedge \text{pathConnected } (y, z) \rightarrow \text{pathConnected } (x, z) \quad (\text{RLD 5.6})$$

Observando-se a RLD 5.7, percebe-se que ela formaliza a propriedade de transitividade na conexão de caminho (*pathConnected*) quando se trata dos elementos intermediários desse caminho. Ou seja, um elemento do caminho está conectado com o resto do caminho à sua frente e atrás de si.

$$\forall x, y, z [Unidirectional\ CP(y) \vee Path\ Connection(y)] \wedge Path\ Component(x) \wedge Path\ Component(z) \wedge pathConnected(x, y) \wedge pathConnected(y, z) \rightarrow pathConnected(x, z)$$

(RLD 5.7)

Percebe-se que as RLDs 5.8 e 5.9 identificam as entidades de transporte do caminho (*pathConnection*) que fazem parte do início ou fim desse caminho (*Head*). Essa identificação é útil para se avaliar quais as entidades fazem parte de um mesmo caminho e quais caminhos são disjuntos.

$$\forall x, y Source\ TCP(x) \wedge Path\ Connection(y) \wedge directlyConnected(x, y) \rightarrow Path\ Head(y)$$

(RLD 5.8)

$$\forall x, y Path\ Head(x) \wedge Sink\ TCP(y) \wedge pathConnected(x, y) \rightarrow \exists! z Path(z) \wedge hasPathHead(z, x)$$

(RLD 5.9)

Finalmente, a RLD 5.10 permite que os elementos de um caminho iniciado por um determinado ponto de referência (*Head*) sejam identificados.

$$\forall x, y, z Path(x) \wedge Path\ Head(y) \wedge Path\ Component(z) \wedge hasPathHead(x, y) \wedge pathConnected(y, z) \rightarrow isPartOf(z, x)$$

(RLD 5.10)

5.4.3 Considerações Finais sobre a Ontologia ITU-T G.805

Seguindo o objetivo da presente tese, o desenvolvimento da ontologia computacional se estendeu até se obter os resultados necessários para suportar os serviços especificados para o PSSGRT. Considera-se que existe ainda um grande

número de oportunidades de melhoria no Modelo Conceitual, especialmente no que tange à sua avaliação e validação para uma gama mais diversa de aplicações.

Nota-se que os documentos descritivos da ITU-T são um bom ponto de partida para a criação de ontologias. Entretanto são muitas as inconsistências observadas quando esses documentos são analisados através de um processo de Modelagem Conceitual. Essa linha de trabalho aparenta ser interessante e com grande quantidade de trabalho a ser desenvolvido.

5.5 ESPECIFICAÇÕES E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO PROVEDOR DE SERVIÇOS SEMÂNTICOS DA GERÊNCIA DE REDES DE TRANSPORTE

Nesta tese toma-se o termo Especificação como um conjunto de diretrizes, comportamentos e habilidades que, independentemente da tecnologia de implementação, descrevem as ações e resultados esperados para o componente especificado. A **Contribuição 3** é alcançada nas subseções abaixo, onde é feita a especificação do PSSGRT.

5.5.1 O Papel Desempenhado

Embora seja o principal elemento da arquitetura proposta, o PSSGRT não pode constituir um gargalo para o funcionamento do ambiente de gerência. Portanto, ele deve desempenhar um papel de promotor da interoperabilidade semântica entre a Rede, as EG3S e a Gerência de Redes, servindo como apoio para o estabelecimento de um ecossistema. Essa diretriz permite que soluções tradicionais (EGC), não usuárias dos serviços oferecidos pelo PSSGRT, ainda consigam operar normalmente no novo ambiente proposto, caso possuam uma estratégia alternativa (convencional).

Para atingir seu objetivo, o PSSGRT deve desempenhar três grandes tarefas:

- Estabelecer um canal para o Fluxo de Informações Semânticas (Fluxo 2 – Figura 18), cuja a outra ponta é representada pelas EG3S;
- Manter atualizada a base de informações semânticas, refletindo sempre o estado mais atual do ecossistema;
- Criar uma equivalência semântica entre as Informações Operacionais (modelos de dados, MIBs, protocolos de gerência e primitivas de gerenciamento) e os conceitos das ontologias presentes na Base de Informações Semânticas;

É importante frisar que o PSSGRT não deve se prestar ao papel de mediar o Fluxo de Informações Operacionais (Fluxo 1 – Figura 18), tão pouco armazenar Dados Operacionais, ambos vinculados aos Elementos de Rede ou aos convencionais modelos de Gerência. Entretanto, o PSSGRT pode estabelecer o correlacionamento semântico entre os conceitos do domínio e os respectivos Dados Operacionais. Esse serviço pode informar não só os formatos de representação desses dados (ASN.1, CIM, etc.), mas também sua relação com as demais entidades e processos de gerenciamento do ambiente.

5.5.2 Modelo Semântico Oferecido

O PSSGRT deve permitir que o conhecimento por ele gerenciado tenha:

- **Representatividade do Domínio – Ontologia Central:** possuir informações semânticas básicas e fundamentais sobre o domínio das Redes de Transporte e da Gerência de Redes de Transporte, possibilitando que o “senso comum” seja estabelecido. Essa visão compartilhada dos conceitos do domínio deve estabelecer uma Ontologia Central, sobre a qual novas informações e fatos serão agregados ou derivados. No caso da especialização para o domínio das Redes de Transporte, a Ontologia Central deve estabelecer conceitos sobre a constituição e o comportamento das redes de transporte;

- **Capacidade de Extensão:** permitir que o conhecimento seja estendido a partir daquele que se encontra disponível. Entretanto, que a extensão seja criteriosa, impedindo a sobreposição de informações semânticas e a possível perda de coerência ou fidelidade da representação do domínio;
- **Raciocínio Lógico:** permitir o uso de inferência lógica, proporcionando a descoberta de novos fatos, e a consistência do modelo;
- **Controle do Ciclo de Vida da Informação Semântica:** controlar versões, extensões e requisitos temporais para que as informações semânticas estejam adequadas ao uso; e
- **Segurança de Acesso:** garantir os atributos de segurança das informações semânticas, bem como das aplicações que a utilizem.

As informações semânticas sob guarda do PSSGRT devem ser atuais e completas com relação ao ecossistema abarcado. Existe o risco de mudanças na Rede (especialmente nos Elementos de Rede) causarem desatualização nas informações semânticas. Entende-se que o processo de *Network Discovery* (descoberta de elementos e informações da rede) (STALLINGS, 1999) deve estar intimamente relacionado com o PSSGRT, implicando na atualização constante da base de informações semânticas.

5.5.3 O PSSGRT Como Facilitador da Criação de Ecossistemas de Autogerenciamento

Pode-se considerar o PSSGRT como um facilitador da criação de ecossistemas pelos seguintes motivos:

- não impõe o uso de seus serviços para que o gerenciamento (convencional) continue a ocorrer;
- cria uma visão compartilhada (modelo conceitual baseado em uma recomendação bastante adequada e adotada pela comunidade) sobre os

principais conceitos da rede, gerência de redes, entidades de gerência e dados operacionais, propiciando a interoperabilidade semântica; e

- oferece serviços semânticos que proporcionam, desde a entrega de modelos de implementação (semânticos) brutos, até a execução de tarefas simples e intimamente ligadas aos conceitos específicos das ontologias gerenciadas.

5.5.4 A Organização Funcional Interna do Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte

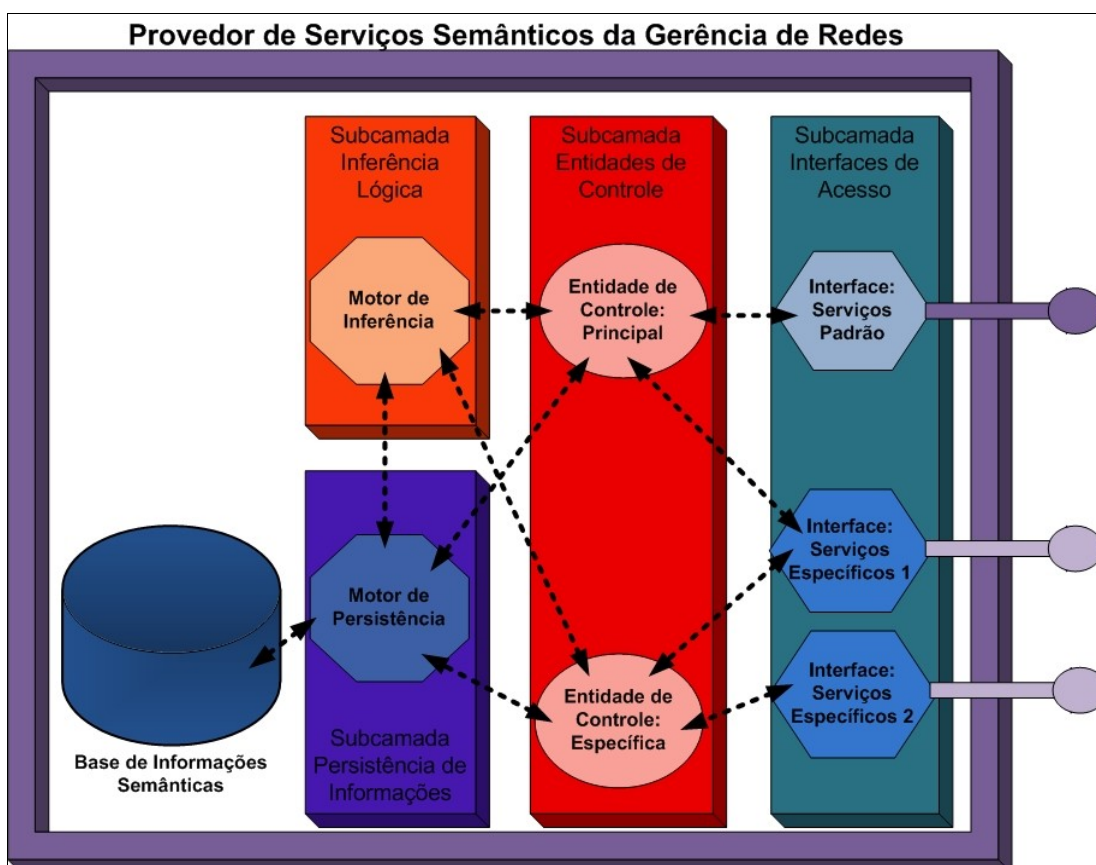


Figura 32: Estrutura Interna do PSSGRT

O Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte deve ser organizado internamente de forma a oferecer flexibilidade em sua implementação. Para isso, foram sugeridas subcamadas, como mostra a Figura 32.

- **Subcamada Interfaces de Acesso:**

Divisão funcional abstrata que permite abrigar diferentes **Interfaces** de acesso aos serviços do PSSGRT. Permite não só que diferentes tecnologias de acesso sejam implementadas (protocolos e mecanismos de comunicação), mas também diferentes serviços sejam dinamicamente implementados e publicados para o ecossistema de gerenciamento (dependendo da tecnologia adotada).

- **Subcamada Entidades de Controle:**

Divisão funcional abstrata que representa o conjunto dos elementos que realmente possuem a lógica de controle sobre os serviços oferecidos. Esses elementos são denominados **Entidades de Controle** e são responsáveis por, efetivamente, implementar os serviços publicados pela Subcamada Interfaces de Acesso ou pelas tarefas (*background*) que fazem parte do papel desempenhado pelo PSSGRT. Um exemplo de instância necessária de Entidade de Controle é a que realiza o processo periódico de descoberta e atualiza a Base de Informação Semântica.

- **Subcamada Inferência Lógica:**

Divisão funcional abstrata responsável pela inferência lógica sobre as ontologias disponíveis. Essa subcamada tem como objetivo desobrigar as diferentes **Entidades de Controle** de terem seus próprios **Motores de Inferência**. Essa medida evita redundância de código nas Entidades de Controle (motor de inferência) e tenta garantir que as inferências possam ser reaproveitadas caso se queira implementar uma memória para elas (*cache* de inferência).

- **Subcamada Persistência de Informações:**

Divisão funcional abstrata que representa a capacidade de armazenamento e recuperação das informações semânticas manipuladas pelo PSSGRT. Seu objetivo é dar independência às Entidades de Controle no que tange à escolha e utilização de um mecanismo de persistência. Pode oferecer

diferentes serviços de persistência, conforme a escolha dos mecanismos e componentes. O **Motor de Persistência**, elemento ativo dessa subcamada, tem uma íntima ligação com a **Base de Informações Semânticas**, que é a responsável final pelo armazenamento da Ontologia Computacional Central e suas extensões.

Embora as divisões funcionais apresentadas já estejam mais próximas das decisões de implementação do que da descrição genérica feita na seção 5.3, ainda não é pertinente definir aqui tecnologias candidatas ou até detalhes maiores sobre a implementação. As seções 5.6 e 5.7 trazem uma discussão mais qualificada sobre as opções tecnológicas para a implementação do PSSGRT.

O estilo de arquitetura interna do PSSGRT procura seguir os princípios básicos apontados por Turner (1997): modularidade, generalidade e simplicidade. A modularidade foi concebida através da clássica decomposição funcional, separando os elementos em subcamada com propósito funcional específico. Para essa decomposição foram abordados os critérios (TURNER, 1997) da:

- **coerência**: uma vez que todos os aspectos necessários ao funcionamento de cada subcamada estão presentes e não são visíveis às demais subcamadas;
- **desacoplamento**: presente neste caso uma vez que as interfaces (externas), as entidades de controle e os elementos acessórios (persistência e inferência) fornecem e consomem serviços através de interfaces (conectores) internas; e
- **proporção** (balanceamento de elementos por camada): demonstrado neste caso já que praticamente uma classe de elementos funcionais está presente em cada subcamada.

A generalização (TURNER, 1997) reside no fato dos elementos funcionais representarem classes genéricas de elementos funcionais que podem ser especializados conforme os serviços e as tecnologias de implementação. Os critérios utilizados para essa concepção foram:

- **grau de abstração:** os elementos funcionais foram concebidos de maneira abstrata e não associados a nenhum algoritmo, técnica ou tecnologia prévios;
- **grau de compartilhamento:** além do compartilhamento de serviços acessórios (persistência e inferência), a arquitetura foi concebida de forma a permitir a reutilização dos padrões básicos e restrições de cada classe de elemento funcional. Isso está presente na especialização de interfaces, serviços e entidades de controle chamados de específicos (Figura 32); e
- **adaptabilidade:** os elementos funcionais foram concebidos de forma que possam se adaptar à mudanças nas funções (expansão ou contração), desde que se mantenham as funções gerais de cada subcamada.

O princípio da simplicidade (TURNER, 1997), regido pelos critério da uniformidade, elegância e economia, é de difícil constatação, uma vez que seria necessário apresentar contra exemplos mais econômicos elegantes e uniformes para haver uma comparação. Por essa razão, ele não será comentado.

5.6 ESPECIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS OFERECIDOS PELO PSSGRT

Esta seção descreve abstratamente os serviços mais relevantes para a implementação do Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte. Os serviços e seus parâmetros são descritos de forma abstrata, independente de tecnologia, com o simples objetivo de orientar o leitor sobre as funcionalidades pretendidas.

Nesta tese não são tratadas as especificações dos protocolos (de transporte, apresentação e aplicação) utilizados para a definição completa da interface de acesso aos Serviços Semânticos. Uma discussão futura e mais profunda deve ser feita sobre essas questões técnicas, observando-se as tendências de criação e consumo de serviços em tempo de execução (vide seção 5.8).

5.6.1 A Natureza dos Serviços Oferecidos

É importante notar que existem duas naturezas para os serviços oferecidos pelo PSSGRT:

- **Serviços Independentes de Domínio:** são aqueles que não têm relação direta com o domínio de Redes ou Gerência de Redes de Transporte. Esses serviços são úteis em qualquer domínio e poderiam fazer parte de uma versão genérica da arquitetura proposta;
- **Serviços Dependentes de Domínio:** são aqueles totalmente dependentes do domínio de Redes e Gerência de Redes de Transporte. Além de não terem utilidade em outros domínios de aplicação, são serviços mais específicos e complexos de serem interpretados e utilizados.

5.6.2 Serviços de Contextualização

São os serviços primários, independentes de domínio, cujo objetivo é dar informações básicas sobre as facilidades semânticas disponíveis e sobre a abrangência dos demais serviços prestados. Alguns dos principais serviços desta categoria são:

I. Informações Gerais Sobre o PSSGRT

Descrição: Informa o nome, fabricante e versão do PSSGRT. Serve como serviço de teste para as EG3S que desejam verificar se o PSSGRT está disponível

Entradas: • Nenhuma

Saídas: • Informa o nome da instância, o fabricante e a versão do PSSGRT.

II. Mapa Geral da Base de Informações Semânticas

Descrição: Permite consultar as ontologias disponíveis, bem como suas versões.

Entradas: • Nenhuma

Saídas: • Lista de ontologias disponíveis (nomes canônicos) e respectivas versões

III. Páginas Brancas da Base de Informações Semânticas

Descrição: Permite consultar se uma determinada ontologia, em determinada versão, está disponível na Base de Informações Semânticas.

Entradas: • Nome padrão da ontologia a ser consultada e respectiva versão.

Saídas: • Informa a disponibilidade (disponível ou não disponível). Caso exista uma versão diferente da requisitada, informa essa possibilidade.

IV. Mapa Geral de Serviços do PSSGRT

Descrição: Permite consultar os demais serviços prestados pelo PSSGRT, bem como a localização de instruções tecnológicas para acesso aos mesmos (protocolos, interfaces, semântica de operação).

Entradas: • Nenhum

Saídas: • Lista de serviços disponíveis (nomes canônicos), respectivas versões e localização de instruções tecnológicas de acesso aos mesmos;

V. Páginas Brancas de Serviços Semânticos

Descrição: Permite consultar se o PSSGRT provê um serviço específico.

Entradas: • Nome padrão do Serviço consultado e respectiva versão.

Saídas: • Lista de serviços disponíveis (apenas os nomes padrão), respectivas versões e localização de instruções tecnológicas de acesso aos mesmos;

5.6.3 Serviços Semânticos Básicos

São os serviços, independentes de domínio, que facilitam a interoperabilidade semântica entre as entidades do ecossistema de gerenciamento de rede. Dentre eles destacam-se:

VI. Dicionário de Sinônimos

Descrição: Permite que uma entidade consulte se existe um sinônimo para um termo ou conceito.

Entradas:

- Termo ou Conceito consultado;
- Ontologia alvo (pode ser feita também sobre toda a Base de Informação Semântica – *Fullscan*)

Saídas:

- Status da operação (sucesso ou fracasso e respectivo código de erro);
- Em caso de sucesso, a lista de termos ou conceitos equivalentes e respectivas ontologias e versões em que foram encontrados.

VII. Consulta Lógica Transparente à Base de Informações Semântica

Descrição: Permite que uma entidade consulte a existência de classes, propriedades, literais e indivíduos de uma Base de Informação Semântica.

Entradas:

- Termo ou Conceito consultado;
- Qualificador da consulta (propriedade, classe base ou tipo)
- Ontologia alvo (pode ser feita também sobre toda a Base de Informação Semântica – *Fullscan*)

Saídas:

- Em caso de sucesso, a lista de conceitos (recursos) resultantes da consulta.

VIII. Inserção Transparente à Base de Informações Semântica

Descrição: Permite que uma entidade insira classes, propriedades, literais e indivíduos de uma Base de Informação Semântica.

Entradas:

- Termo ou Conceito a inserir;
- Qualificador da inserção (propriedade, classe base ou tipo)
- Ontologia alvo.

Saídas: • Mensagem descrevendo o *Status* da operação.

IX. Extensão Dependente da Base de Informações Semânticas

Descrição: Estende uma das ontologias já registradas na Base de Informação Semântica.

Entradas:

- Ontologia de extensão (artefato de software a ser armazenado);
- Ontologia base da extensão (aquela da qual depende a nova ontologia a ser inserida);
- Privacidade da extensão (público ou privado);

Saídas: • Status da operação (sucesso ou fracasso e respectivo código de erro)

X. Extensão Independente da Base de Informações Semânticas

Descrição: Insere uma ontologia nova na Base de Informação Semântica.

Entradas:

- Ontologia de extensão (artefato de software a ser armazenado);
- Privacidade da extensão (público ou privado);

Saídas: • Status da operação (sucesso ou fracasso e respectivo código de erro)

XI. Exportação de Base de Informações Semânticas

Descrição: Exporta uma base de informações semânticas em um dos formatos escolhidos.

Entradas:

- Ontologia exportada (nome canônico);
- Formato escolhido (OWL/XML, N3, Manchester, etc.)

Saídas: • Status da operação (sucesso ou fracasso e respectivo código de erro)

5.6.4 Serviços de Informações Topológicas e Estruturais

São os serviços, dependentes do domínio (Redes e Gerência de Redes de Transporte), que proporcionam uma visão sobre a topologia da rede ou de uma porção bem definida dela.

XII. Sub-redes Registradas

Descrição: Informa as sub-redes registradas.

Entradas: • Nenhuma

Saídas: • Lista de sub-redes registradas como forma de agrupamento de equipamentos e porções da rede (sempre existirá a sub-rede Geral, equivalente a toda a rede conhecida pela Camada Semântica)

XIII. Camadas Tecnológicas Presentes na Sub-rede

Descrição: Informa as camadas tecnológicas da sub-rede desejada.

Entradas: • Identificação da Sub-rede;

Saídas: • Lista de camadas tecnológicas na sub-rede consultada.

XIV. Conexões de Rede Registradas

Descrição: Informa as conexões de rede registradas para uma dada Camada Tecnológica.

Entradas: • Camada Tecnológica

Saídas: • Lista de conexões de rede e respectivos Pontos de Terminação de Conexão para a Camada Tecnológica.

XV. Pontos de Referência Registrados

Descrição: Informa os Pontos de Referência (AP/CP/TCP) registrados para uma dada Camada Tecnológica.

Entradas: • Tipo do Ponto de Referência (AP/CP/TCP);
• Camada Tecnológica;

- Sub-rede.

Saídas: • Lista de Pontos Terminais de Conexão para a Camada Tecnológica.

XVI. Relação Cliente Servidor

Descrição: Informa qual a camada adjacente (superior ou inferior) da Camada Tecnológica consultada.

Entradas: • Camada Tecnológica consultada;
• Relação Desejada (Cliente = adjacência superior / Servidora = adjacência inferior)

Saídas: • Lista de Pontos Terminais de Conexão para a Camada Tecnológica.

XVII. Inserção de Função de Processamento

Descrição: Insere uma Função de Processamento (TTF/AF) em uma determinada Camada Tecnológica da Sub-rede desejada.

Entradas: • Nome do Indivíduo;
• Tipo da Função (TTF/AF);
• Camada Tecnológica;
• Sub-rede.

Saídas: • Retorna o *Status* da operação.

XVIII. Inserção de Conexão de Enlace

Descrição: Insere uma Conexão de Enlace (*Link Connection (LC) /Sub-network Connection (SNC)*) entre dois Pontos de Referência (TCP / CP) em uma determinada Camada Tecnológica da Sub-rede desejada.

Entradas: • Nome do Indivíduo;
• Tipo do Enlace (LC/SNC);
• Ponto de Referência de Origem (TCP / CP)
• Ponto de Referência de Destino (TCP / CP)
• Camada Tecnológica;
• Sub-rede.

Saídas: • Retorna o *Status* da operação.

XIX. Inserção de Porta em Função de Processamento

Descrição: Insere uma Porta (Saída/entrada) em uma Função de Processamento (TTF/AF) da Sub-rede desejada.

Entradas:

- Nome do Indivíduo;
- Tipo (*INPUT/OUTPUT*);
- Sub-rede.

Saídas: • Retorna o *Status* da operação.

XX. Vinculação de Portas de Funções de Processamento

Descrição: Vincula (*bind*) uma Porta (Saída/entrada) em uma Função de Processamento (TTF/AF) com outra Porta de outra Função de Processamento da Sub-rede desejada. A coerência da ligação (validade) é criticada pelo PSSGRT.

Entradas:

- Nome da Porta de entrada (*INPUT*);
- Nome da Porta de saída (*OUTPUT*);
- Sub-rede.

Saídas: • Retorna o Ponto de Referência resultante da operação.

XXI. Recupera Pontos de Referência

Descrição: Dado um qualificador (*Sink/Source*, camada ou tipo), recupera os Pontos de Referência presentes na base de informações semânticas.

Entradas:

- Tipo de Qualificador;
- Parâmetro (qualificador);
- Sub-rede

Saídas: • Retorna os Pontos de Referência resultantes da operação.

XXII. Aprovisionamento de Conexão de Rede

Descrição: Cria uma Conexão de Rede (*Network Connection*) entre dois Pontos Terminais de Conexão (TCP) da Sub-rede desejada. A coerência (validade) do provisionamento é criticada pelo PSSGRT.

- Entradas:
- Nome do TCP Origem (*Source*);
 - Nome do TCP Destino (*Sink*);
 - Sub-rede.

Saídas: • Retorna o *Status* da operação.

XXIII. Aprovisionamento de Trilha (*Trail*)

Descrição: Cria uma Trilha (*Trail*) entre dois Pontos de Acesso (AP) da Sub-rede desejada. A coerência (validade) do provisionamento é criticada pelo PSSGRT.

- Entradas:
- Nome do AP Origem (*Source*);
 - Nome do AP Destino (*Sink*);
 - Sub-rede.

Saídas: • Retorna o *Status* da operação.

XXIV. Inventário Completo de Equipamentos/Funções

Descrição: Para uma dada sub-rede, informar os equipamentos provisionados. Junto com a lista de equipamentos pode ser informado também dados relativos aos padrões de acesso e dados operacionais de gerência para cada um deles.

Entradas: • Identificação da sub-rede

Saídas: • Lista de equipamentos provisionados e respectivos atributos.

XXV. Mapa de Interconexão da Sub-rede

Descrição: Para uma dada sub-rede, informar a interligação entre os equipamentos/funções. Na prática, trata-se de um serviço de descrição de topologia.

Entradas: • Identificação da sub-rede

Saídas: • Lista de equipamentos provisionados

XXVI. Descoberta de Caminho

Descrição: Dados dois pontos terminais de uma mesma Camada Tecnológica em uma sub-rede, esse serviço informa se existe um caminho (interconexão) entre eles.

Entradas: • Identificação dos pontos terminais de uma sub-rede

Saídas: • Lista os equipamentos e pontos de conexão que formam um caminho entre os pontos terminais consultados.

5.6.5 Serviços de Informação sobre o Ecosistema

São os serviços, dependentes de contexto, que proporcionam uma visão sobre as demais entidades que habitam o ecossistema de Gerência de Rede sob vigência do PSSGRT.

XXVII. Registro de Entidade de Gerenciamento

Descrição: Esse serviço permite que uma Entidade de Gerenciamento se registre no ecossistema de gerência, informando seus atributos principais e dados operacionais iniciais (nome, fabricante, versão, serviços de gerência prestados, etc.)

Entradas:

- Nome
- Fabricante;
- versão;
- Serviços Prestados;
- Camada Tecnológica

Saídas: • Sucesso da operação e devolução de um identificador numérico para identificação da entidade no ecossistema.

XXVIII. Retirada de Registro de Entidade de Gerenciamento

Descrição: Esse serviço permite que uma Entidade de Gerenciamento retire seu registro do ecossistema de gerência.

Entradas:

- Nome
- Serviços Prestados;
- Camada Tecnológica

Saídas: • Retorna o Status da operação.

XXIX. Catálogo Completo de Entidades Registradas

Descrição: Esse serviço lista todas as Entidades de Gerenciamento de Redes que se registraram na Camada Semântica, bem como seus atributos principais (nome, fabricante, versão, serviços de gerência prestados, etc.)

Entradas:

- Identificação da sub-rede (porção da rede);
- Camada Tecnológica de atuação;

Saídas:

- Lista de entidades e respectivos atributos principais

XXX. Páginas Brancas das Entidades de Gerenciamento

Descrição: Dado o nome ou identificação numérica de uma Entidade de Gerenciamento, retorna informações sobre ela. Essas informações podem ser tanto sobre os dados básicos de software (fabricante, versão, etc.) quanto operacionais (endereço de operação, endereço de comunicação, tempo de operação, objetos gerenciados, protocolos de gerência utilizados, equipamento alvo, etc).

Entradas:

- Identificação da Entidade (nome ou identificação numérica).

Saídas:

- Informações sobre a Entidade Consultada

XXXI. Páginas Amarelas das Entidades de Gerenciamento

Descrição: Dadas a camada tecnológica e a função desempenhada (opcionalmente) dentro da Gerência de Redes de Transporte, retorna informações sobre as Entidades de Gerência registradas

Entradas:

- Camada Tecnológicas;
- Função Desempenhada (opcional).

Saídas:

- Lista de Entidades de Gerência Registradas com as características consultadas.

5.6.6 Algumas Considerações Sobre Os Serviços Oferecidos pelo PSSGRT

5.6.6.1 A Segurança da Informação nos Serviços do PSSGRT

A Segurança da Informação é um tema recorrente em qualquer especificação de sistema distribuído. Por se tratar de uma proposta que envolve entidades com certo grau de autonomia de ações, é de extrema importância que se fique atento aos mecanismos de identificação e não repúdio das entidades do ecossistema de gerência. Além disso, a questão da restrição de acesso às informações e do sigilo das comunicações mais sensíveis também são questões importantes.

Observa-se que o PSSGRT não exige nenhum serviço ou mecanismo de segurança que já não esteja em uso. Por esse motivo, um maior detalhamento dos aspectos de segurança da informação não é feito nesta tese, ficando para estudos futuros.

5.6.6.2 Os Serviços Independentes de Domínio

Os Serviços Independentes de Domínio têm um enorme potencial com relação à autonomia das entidades servidas pelo PSSGRT. Sua evolução pode proporcionar o interessante atributo da autocontextualização, permitindo que as Entidades de Gerência aprendam sobre o domínio em tempo de execução. Após esse aprendizado, elas passariam a se comportar de forma adequada ao ecossistema (*machine learning*). Por outro lado, sabe-se que existem grandes barreiras técnicas para se dotar entidades artificiais de grande autonomia e capacidade de aprendizado.

Outra questão importante são os riscos inerentes a serviços tais como os de: extensão de ontologias, registro de novas ontologias e inferência lógica sobre ontologias estendidas. A simples comparação de duas ontologias, para fins de verificação de equivalência, proporciona um grau de incerteza, implicando em tomadas de decisão sobre qual delas é a mais completa ou mais concisa. É a mesma questão relacionada à identificação de sinônimos e a compatibilização de termos. Assim, a manipulação de ontologias e a equalização de conceitos são

serviços com potencial de inserir inconsistências na ontologia de suporte aos serviços semânticos, podendo até danificar o funcionamento do PSSGRT.

Pelas razões apresentadas, os Serviços Independentes de Domínio merecem um estudo mais detalhado que possam levar a métodos que os tornem mais seguros e práticos. Esse estudo está fora do escopo desta tese.

5.6.6.3 Os Serviços Dependentes de Domínio

Os Serviços Dependentes de Domínio possuem uma peculiaridade. Sua utilização depende de um conhecimento prévio dos conceitos do domínio. Em outras palavras, as Entidades de Gerência devem conhecer a Ontologia Central para que sejam capazes de enviar e receber informações, além de compreender os resultados obtidos através dos serviços providos.

Analisada por outro ângulo, essa peculiaridade reflete uma questão da cognição, onde se observa a necessidade de um conhecimento prévio para se obter novos conhecimentos. Ou seja, existe um conhecimento mínimo necessário para que uma Entidade de Gerência faça uso dos Serviços Dependentes de Domínio. Esse conhecimento mínimo é a conceituação descrita pela Ontologia Central, que, na especialização definida nesta tese, versa sobre Redes de Transporte e sua Gerência.

5.6.7 Outras Possibilidades de Serviço

Existem inúmeras outras possibilidades de serviços pertinentes à proposta do Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte. Esgotar essas possibilidades, além de estar acima da competência do autor, seria uma grande pretensão. Para cada serviço prestado, o PSSGRT deve possuir informações semânticas suficientemente completas, exigindo um grande esforço de modelagem e implementação das Ontologias de suporte.

Entretanto, uma direção interessante para a criação de novos serviços é a que trata dos mecanismos e estratégias de gerenciamento. O reaproveitamento de técnicas, algoritmos e estratégias de gerenciamento possui uma relação estreita com a filosofia da arquitetura proposta. A modelagem conceitual de técnicas de gerenciamento, tais como o *Police-Based Network Management* (PBNM), pode constituir uma nova linha de trabalho.

5.7 A VIABILIDADE TÉCNICA DA PROPOSTA

Conforme enfatizado anteriormente, para que uma entidade de Gerência de Redes seja autônoma e demande o mínimo de intervenção humana em sua operação, um de seus principais atributos deve ser o de conhecer o ecossistema (ambiente) no qual está inserido para então aplicar suas outras habilidades. Esse atributo está diretamente relacionado com a capacidade de uma máquina ler e interpretar informações semânticas. Essa capacidade dá a essa Entidade não só a capacidade de processar informações operacionais, mas também entender o que elas significam.

Na abordagem tradicional de desenvolvimento de software, o conhecimento sobre a informação processada é implícito e estático, devendo ser programado previamente. Entretanto, nos sistemas autônomos, caso do Autogerenciamento, é necessária uma grande dose de flexibilidade e percepção do contexto. Isso implica em uma nova abordagem técnica para dotar as máquinas de capacidade de leitura e interpretação de metainformação (informação sobre a informação).

Com os avanços das tecnologias *Web*, em especial as associadas aos mecanismos de busca de informação, houve um interesse muito grande pela metainformação. Nessa direção o *World Wide Web Consortium* (W3C), entidade gestora das tecnologias associadas à *Web*, promoveu a criação e padronização de uma série de tecnologias para tratar da metainformação. Uma das primeiras iniciativas foi a linguagem *eXtensible Markup Language* (XML) (WORLD WIDE WEB CONSORTIUM **XML ESSENTIALS**, 2010) onde uma gramática base é utilizada para a construção de outras linguagens e respectivas gramáticas. Dentre várias outras iniciativas

derivadas da linguagem XML, uma das primeiras na direção da metainformação foi a *Resource Description Framework* (RDF) (MANOLA; MILLER, 2010). RDF é uma linguagem criada para descrever recursos na *Web*. Sua estrutura básica provê a criação de sentenças (triplas) onde são declarados: sujeito, predicado e objeto.

Posteriormente, a Ontologia, empregada até então de forma pouco padronizada na Engenharia de Software e na Inteligência Artificial, foi revisitada pela comunidade *Web*. Desse evento surgiu a linha tecnológica chamada de *Semantic Web* (*Web* com informações semânticas) (W3C. **SEMANTIC WEB**, 2010), cujo principal objetivo é promover as informações semânticas dentro dos sistemas computacionais da *Web* (dada a importância da *Web* para a Internet, poder-se-ia dizer que a abrangência da *Semantic Web* transcende as aplicações *Web* e pode ser empregada em diferentes áreas da tecnologia de software). Extensões da RDF, proporcionaram maior expressividade para a descrição de conceitos e a capacidade de inferência lógica. A linguagem OWL (atualmente em sua versão 2 – OWL 2) (HITZLER et al., 2010) é um expoente dentre as tecnologias da *Semantic Web*, pois foi construída especificamente para representar ontologias passíveis de leitura por máquina (*machine readable*). Recentemente, a tecnologia *Simple Knowledge Organization System* (SKOS) (ISAAC; SUMMERS, 2010) está sendo proposta para facilitar a integração de ontologias no que tangem a publicação e compatibilização (equalização) de conceitos, além do acesso aos documentos RDF e OWL.

Estabelecidos os padrões de representação de informações semânticas, diversas ferramentas e *Application Program Interfaces* (APIs) foram desenvolvidas para lidar com elas. Editores, ambientes de composição, motores de inferência e *frameworks* de integração são componentes razoavelmente comuns em projetos que envolvem o desenvolvimento de aplicações nessa nova visão da gestão da informação. Alguns exemplos desses componentes são apresentados na seção 5.8.

Diante do cenário técnico descrito acima, a implementação do PSSGRT se torna uma proposta tecnicamente viável, com sólidas tecnologias candidatas. Entretanto, sem uma implementação de referência (que está fora do escopo do presente trabalho) ainda não é possível identificar quais são as atuais limitações tecnológicas para a plena operação da arquitetura proposta.

5.8 TECNOLOGIAS CANDIDATAS À IMPLEMENTAÇÃO DE REFERÊNCIA

Uma **Implementação de Referência** é uma das possíveis realizações de uma especificação de sistema. Nas subseções seguintes são analisadas as principais tecnologias candidatas a uma Implementação de Referência para as especificações descritas na seção 5.4. A análise não tem por objetivo criar um padrão de implementação, mas apresentar as alternativas técnicas mais aderentes à proposta defendida nesta tese. Observa-se que o foco do estudo descrito nesta seção é o PSSGRT, uma vez que ele é o principal elemento da arquitetura proposta. Não é tratada a implementação do EG3S por esta representar a livre iniciativa da comunidade de Gerência de Redes.

5.8.1 *Middleware* de Suporte à Entidade de Controle das Informações Semânticas

O núcleo da implementação do Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte é a construção das Entidades de Controle. Os demais componentes internos ao PSSGRT devem apoiar o trabalho dessas entidades, sendo secundários em relação a elas. Dessa forma, a definição técnica da implementação das Entidades de Controle influenciará a implementação dos componentes das demais subcamadas.

Considerando a característica básica de uma Entidade de Controle (ser a efetiva provedora de serviços) e a inerente descentralização de ações requeridas pelos modernos ambientes de gerenciamento, é imprescindível que exista um *Middleware* distribuído de suporte. Esse *Middleware* deve ser aberto, portátil e oferecer facilidades de programação utilizando informações semânticas.

Um candidato natural a esse papel é a arquitetura CORBA, da organização *Object Management Group* (OMG, 2010). CORBA permeia as implementações de uma infinidade de sistemas de Gerência de Redes. Entretanto, a evolução da tecnologia JAVA (onde a própria *Java Virtual Machine* já é um *middleware* peso leve) trouxe alguns diferenciais positivos. Além da portabilidade e abertura de código e padrões,

a tecnologia JAVA foi estendida em diversas direções, permitindo aos programadores tirar vantagem de poderosas APIs e *middlewares* auxiliares, tais como: serviços de diretório, serviços de segurança, serviços de persistência objeto-relacional, interfaces ricas baseadas em *Web*, serviço de registro (*log*), serviços de construção de agentes, serviços de configuração dinâmica de aplicações, etc.

Uma outra tendência que se observa no mercado é a filosofia de arquitetura de sistemas denominada *Service Oriented Architecture* (SOA) (SOA, 2010). Essa filosofia propõem que a integração de software seja feita através do conceito de serviço, permitindo a independência tecnológica e a interação máquina-máquina.

Nessa direção, está sendo debatido um conceito chamado *Enterprise Service Bus* (ESB) (CHAPPELL, 2004) para a implementação da *Service Oriented Infrastructure* (SOI). Trata-se de um barramento de acesso a serviços, baseado no baixo acoplamento entre consumidores e provedores de serviço. Diversas tecnologias estão sendo apontadas como base da implementação do ESB. A proposta mais abrangente é apresentada pela empresa JBoss, o chamado JBossESB (JBoss; **JBOSSESB**, 2010). Sua principal característica é a de fornecer diversas maneiras de interagir com o ESB. As requisições e respostas são transformados em mensagens e entregues ao *middleware*, onde são processadas pelos tradicionais serviços de: roteamento, segurança de acesso, persistência e tratamento de eventos.

Por outro lado, a tecnologia OSGi (OSGI ALLIANCE, 2010), implementada exclusivamente em JAVA, traz como principal objetivo proporcionar uma dinâmica no ciclo de vida dos serviços nele instalados. Através do padrão OSGi os módulos (*bundles*) prestadores de serviço podem ser ativados, desativados e alterados dinamicamente, sem a necessidade de se interromper os demais serviços ou mesmo sua versão anterior. Essa proposta é bastante interessante para ambientes com operação altamente descentralizada e com frequentes mudanças.

Na realidade, para a implementação das Entidades de Controle a tecnologia mais adequada seria uma junção de característica do ESB e do OSGi. É possível que no futuro exista essa opção, mas na data de elaboração desta tese ainda não se pode afirmar que tal convergência acontecerá.

Para a elaboração de uma Implementação de Referência, sugere-se, então, que o ESB seja empregado quando se pretender integrar aplicações heterogêneas, em tecnologias diversas. É um padrão de implementação mais “pesado”, mas com grande potencial de expor serviços de forma aberta e abrangente ao ecossistema de gerência.

O OSGi pode ser empregado para aplicações onde a tecnologia JAVA é dominante e a dinâmica da atualização de serviços esteja muito presente. Também pode ser vista como uma opção peso leve para o desenvolvimento de soluções de Autogerenciamento aderentes à arquitetura proposta. Uma outra vantagem do OSGi é que existem diversas implementações e uma enorme sinergia com as demais tecnologias JAVA. Um exemplo é o *framework* de agentes JADE, cuja versão 3.7 (e superiores) já pode ser integradas ao OSGi, proporcionando agentes consumidores e fornecedores de serviço via *middleware*.

5.8.2 Interfaces de Acesso aos Serviços Semânticos

A Interface de Acesso aos Serviços Semânticos deve ser a mais aberta possível, proporcionando baixo acoplamento e independência tecnológica entre as entidades que solicitam o serviços e o PSSGRT. Não há dúvidas que as tecnologias Internet estão entre as candidatas mais abertas e de baixo acoplamento, sobretudo as associadas à infraestrutura da *Web*, a exemplo da *Web Services*. Recentemente, diversos esforços têm sido feitos para aumentar o poder da *Web Services*. Dentre eles destacam-se aqueles que adicionam elementos semânticos à descrição dos serviços. Esse é o caso da *Semantic Annotation for WSDL (SAWSDL)*, onde se descreve a dinâmica da interação entre as partes envolvidas no processo através da *Service Modeling Language (SML)* e da *Web Services Choreography Description Language (WS-CDL)* (W3C. **WEB OF SERVICES**, 2010). A própria iniciativa *Semantic Web* possui um proposta para a descrição semântica de serviços, a OWL-S. É uma proposta de ontologia de serviços que reúne tantos os aspectos de descrição do serviço quanto os de interação (processo) entre os envolvidos no mesmo.

Outra interface que se mostra interessante é a que suporta mensagens padrão FIPA ACL. Esse tipo de interface facilita a integração de agentes padrão FIPA ao ecossistema de gerência estabelecido pelo PSSGRT. Para isso, uma das Entidades de Controle deve fazer o papel do *Ontology Agent* (proposto pela FIPA), recebendo mensagens requisitando serviços semânticos. Como a proposta da FIPA ainda não é um padrão (está em fase de rascunho), assume-se que os serviços disponibilizados por essa interface são os mesmos descritos na seção 5.4.6.

Considerando que grande parte das opções tecnológicas descritas até aqui possui amplo suporte na linguagem JAVA, também pode ser útil oferecer uma interface puramente JAVA. Essa interface deve ser baseada na linguagem de descrição de interfaces JAVA (dialeto com algumas palavras específicas da linguagem JAVA) e nos protocolos de transporte *Java Remote Method Protocol* (JRMP) ou então no *Internet Inter-ORB Protocol* (IIOP) (SUN. **JAVA REMOTE METHOD INVOKATION**, 2010).

5.8.3 A Implementação de Inferência Lógica

Embora existam opções em outras tecnologias, a tecnologia JAVA oferece um maior número de opções para a implementação da Inferência Lógica. Vale lembrar que a tecnologia de implementação dessa subcamada não deve se restringir a apenas um Motor de Inferências (*Reasoner*). É necessário que exista um *framework* capaz de lidar com a manipulação de arquivos de ontologia e com a base de dados semânticos, além de lidar com consultas semânticas.

Para essa missão existem três bons candidatos: KAON2 (KAON2, 2010), OWLAPI (OWLAPI, 2010) e JENA 2 (JENA, 2010). Todos apresentam suporte para a tecnologia JAVA e têm como missão oferecer a infraestrutura de software necessária à manipulação de ontologias. Eles são capazes de manipular arquivos RDF, RDFS, OWL e SWRL; além de proporcionarem consultas lógicas.

Embora tenham prós e contras, o *framework* JENA 2 está mais maduro. Isso se deve a sua história e seu destaque dentro da comunidade de desenvolvimento. Além disso, JENA 2 é a única que atualmente possui suporte a consultas SPARQL (W3C.

SPARQL QUERY LANGUAGE FOR RDF., 2010), um padrão do W3C. Sua comunidade é bastante ativa e suas atualizações mais frequentes. Outra vantagem do JENA é a implementação de uma interface de inferência lógica que permite ao desenvolvedor trocar o motor de inferência sem um grande impacto no código já escrito.

O motor de inferência mais recomendado para trabalhar com o JENA é o Pellet (também implementado em JAVA) (PELLET, 2010). Sua preferência é justificada por ser um software maduro, com bom suporte técnico, com restrições bem mapeadas e com suporte à inferência sobre artefatos da *Web Semantic* (OWL, RDF e SWRL). Além disso, o Pellet proporciona uma linguagem de consulta chamada TERP (PELLET, 2010), cuja principal vantagem é utilizar uma sintaxe mais amigável do que SPARQL.

5.8.4 A Persistência das Informações

A subcamada de Persistência de Informações possui os mesmos requisitos que outras entidades no mesmo papel. Sua principal função é abstrair a tecnologia de persistência para à demais subcamadas.

Entretanto, alguns *frameworks* de persistência podem agregar valor ao PSSGRT. Características como: mapeamento objeto-relacional, independência de escolha do Gerenciador de Banco de Dados e suporte semântico são as mais relevantes. O *framework* Hibernate (HIBERNATE, 2010) é um exemplo de camada de abstração entre objetos e tabelas (Orientação a Objeto e Bancos de Dados Relacionais) que deve ser empregado juntamente com um Banco de Dados padrão SQL..

Alguns Bancos de Dados já fornecem serviços de armazenamento com algum suporte semântico e inferência lógica (caso do Oracle 10G e superiores) (ORACLE, 2010). Entretanto essas facilidades podem ser ainda muito pobres e restritivas. Uma boa alternativa é a utilização dos serviços de persistência oferecidos pelo *framework* JENA 2, que combinados com um Banco de Dados Relacional ou com o Hibernate podem potencializar os serviços dessa subcamada.

A sofisticação desta subcamada não aparenta trazer nenhuma perspectiva promissora em relação ao papel do PSSGRT. Percebe-se que o incremento de facilidades na Persistência pode reduzir o trabalho de outras subcamadas, mas as responsabilidades básicas continuam sendo as mesmas.

5.9 POTENCIAIS APLICAÇÕES DA ARQUITETURA PROPOSTA - ALGUNS EXEMPLOS

A arquitetura proposta possui um grande potencial a ser explorado no que tange ao desenvolvimento de novas aplicações. Algumas dessas aplicações foram brevemente investigadas para se avaliar como a contribuição pretendida nesta tese podem facilitar a autonomia e a interoperabilidade. Algumas dessas aplicações são apresentadas a seguir.

5.9.1 Planejamento de Redes

Uma das primeiras aplicações investigadas durante o desenvolvimento desta tese foi o problema de Planejamento de Redes (em especial as Redes Ópticas de Transporte). O trabalho denominado OOTN - *An Ontology Proposal for Optical Transport Networks* (Uma Proposta de Ontologia para Redes Ópticas de Transporte), de Barcelos, Monteiro, Simões, Garcia e Segatto (2009), apresenta uma proposta de equalização entre os termos utilizados pelas tradicionais técnicas de *Virtual Topology Design* (VTD) e *Route Wavelength Assign* (RWA) e a Ontologia da recomendação ITU-T G.805 (apresentada na seção 5.4).

Utilizando-se os termos específicos da recomendação ITU-T G.872, observa-se que existe uma enorme coincidência de significado entre o conceitos desses dois domínios.

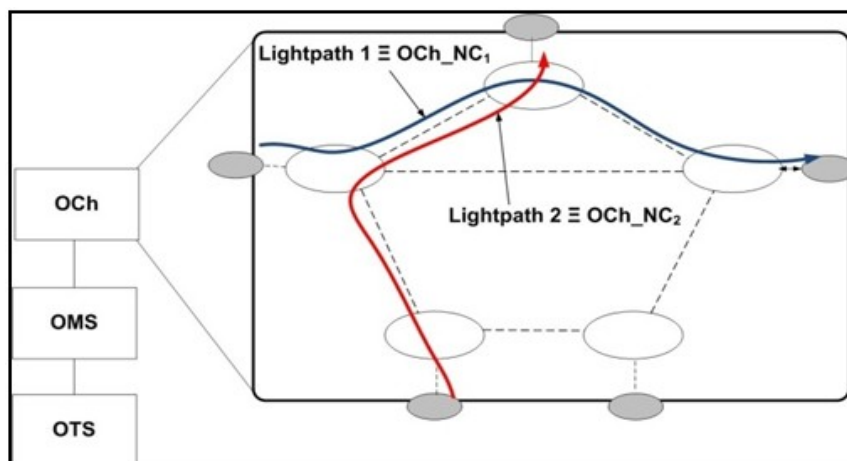


Figura 33: O *Lightpath* como uma Conexão de Rede OCh

Fonte: (BARCELOS; MONTEIRO; SIMÕES; GARCIA; SEGATTO, 2009)

A Figura 33 mostra que um *Lightpath* da Topologia Virtual pode ser comparado a uma Conexão de Rede da Camada *Optical Channel* (OCh) da recomendação ITU-T G.872. As Figuras 34 e 35 mostram como os conceitos de Topologia Física, Lógica (inserida como proposição do artigo) e Virtual podem acomodar essa nova proposição de equalização de termos e associar topologia com o conceito de *Layer Network* do ITU-T G.805.

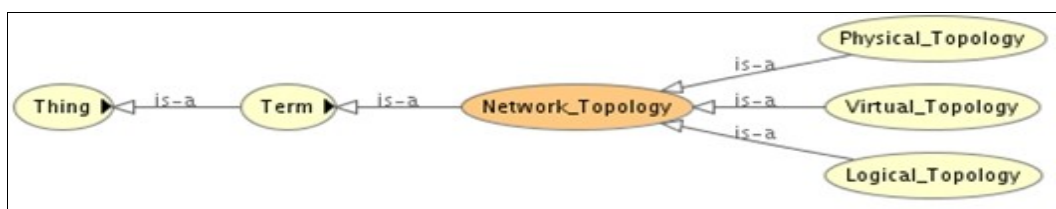


Figura 34: A Inserção da Topologia Lógica no Problema de VTD/RWA

Fonte: (BARCELOS; MONTEIRO; SIMÕES; GARCIA; SEGATTO, 2009)

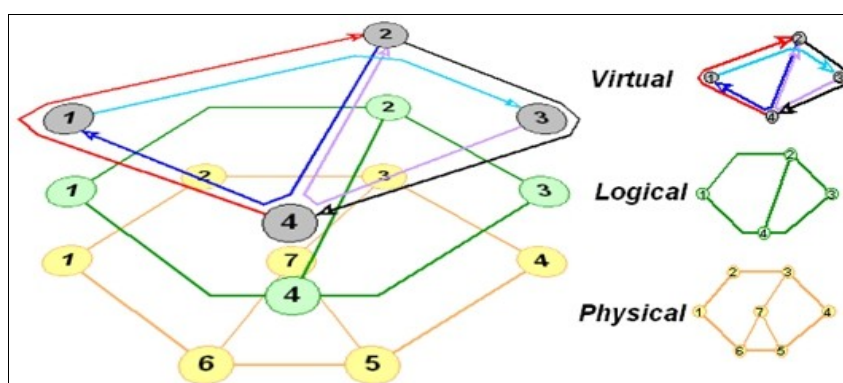


Figura 35: Visão das Camadas de Um Problema VTD/RWA

Fonte: (BARCELOS; MONTEIRO; SIMÕES; GARCIA; SEGATTO, 2009)

Partindo da visão de Barcelos, Monteiro, Simões, Garcia e Segatto (2009), é possível desenvolver uma aplicação de Planejamento de Rede capaz de usufruir da arquitetura proposta para automatizar seu processo de leitura dos parâmetros iniciais e posterior armazenamento das topologias calculadas.

Como vantagem dessa abordagem, as aplicações de Planejamento de Redes podem utilizar diferentes Entidades de Planejamento (cumprindo o papel EG3S) para realizarem, paralelamente, funções antes delegadas aos seres humanos. Um exemplo disso é a comparação dos resultados de diferentes técnicas de planejamento. Havendo um Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte, é possível ler, interpretar e escrever as diferentes topologias obtidas durante um processo de planejamento. Caso um critério seja estabelecido, as diferentes soluções podem ser categorizadas, uma vez que serão descritas formalmente por uma ontologia (Ontologia ITU-T G.805, especializada pela ITU-T 872).

Outra possibilidade ainda não explorada é a capacidade de planejamento em camadas, onde Entidades de Planejamento podem se especializar em determinadas camadas da Rede de Transporte e aplicar estratégias específicas, conforme necessário. Além disso, os resultados obtidos no planejamento de uma camada podem servir de parâmetro para o planejamento de camadas adjacentes. Um exemplo dessa situação é a integração do planejamento de caminhos virtuais (VTD) com o planejamento físico (levando-se em consideração as restrições físicas).

Por fim, as estratégias de planejamento, de otimização e do espaço de busca para os parâmetros ótimos podem ser agregadas aos Serviços Semânticos oferecidos, através de uma extensão da Ontologia Central.

5.9.2 Simulação de Redes

Os Simuladores de Eventos Discretos (*Discret Event Simulators* - DES) demonstraram, ao longo de sua história, ser uma excelente ferramenta computacional para teste de conceitos e predição de comportamento de Redes. Sua quase exclusiva operação por agentes humanos, através da descrição de modelos e

interpretação de resultados, sempre foi um entrave para sua utilização dentro de sistemas autônomos. Solucionar esse questão parece ser um ponto fundamental para se integrar essa classe de ferramentas aos sistemas autônomos.

Observa-se que em todos os processos de simulação que empregam um DES, é necessário construir um Modelo de Simulação, sobre o qual eventos serão propostos. Entretanto, para cada ferramenta DES existe uma linguagem de descrição de Modelos de Simulação, bem como uma de definição dos eventos a serem gerados. Essa incompatibilidade de linguagens leva a problemas tais como:

- dificuldades de se portar um modelo para uma determinada ferramenta DES;
- possibilidade de perda de esforços de modelagem caso uma ferramenta DES seja descontinuada ou totalmente modificada;
- dificuldade na interpretação de resultados gerados por diferentes ferramentas DES; e
- dificuldades na troca de informações entre ferramentas DES, criando barreiras na utilização de um conjunto de ferramentas DES, cada uma especializada em determinado tipo de modelo.

Assim como no Planejamento de Redes, a Simulação de Redes poderia usufruir da arquitetura proposta para receber informações que sejam utilizadas na descrição de um Modelo de Simulação e na publicação de resultados sobre esses modelos. Pode-se tomar como exemplo a capacidade que o Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte tem de estender o trabalho de Warren e outros (2004), cuja contribuição foi criar uma aplicação de Gerência de Rede onde um DES era parte integrante da solução (simulação *near-real-time* – próxima do tempo real - para responder a eventos detectados na Gerência de Redes). Com essa extensão, outras ferramentas de gerencia poderiam lançar mão de um DES, mesmo sem a necessidade de um acoplamento tão forte quanto o sugerido por Warren e outros (2004). Essa abordagem permitiria maior autonomia do uso de um DES nas soluções de Autogerenciamento.

5.9.3 Suporte aos Sistemas multiagentes na Gerência de Redes – O Exemplo do JADE

Como uma das tecnologias mais citadas nos trabalhos de Autogerenciamento de Redes, os Agentes de Software são entidades com um grande potencial de usufruto da arquitetura proposta. Perceber o ambiente, trocar informações e atuar de maneira flexível (modificando o ambiente no qual se insere) são habilidades inatas a um Agente. Para que seja possível a criação de múltiplos Agentes, a comunicação entre eles é absolutamente necessária.

A organização FIPA (FIPA, 2010), atualmente pertencente ao IEEE *Computer Society*, vem fazendo esforços na padronização das técnicas e protocolos utilizados por agentes. Sua primeira especificação a se tornar um padrão foi a que versa sobre a estrutura das mensagens trocadas entre agentes: *Agent Communication Language* (ACL). Dentro da estrutura da mensagem FIPA ACL existe um campo para se determinar a Ontologia que rege os termos que estão sendo transmitidos no campo de conteúdo (corpo) da mensagem.

Recentemente a FIPA apresentou uma proposta de padronização do serviço de Gestão de Ontologia. A ideia é que exista um agente - *Ontology Agent* (OA) - especialista em suprir os demais agentes com informações sobre ontologias. Os demais agentes podem recorrer ao OA para obter a localização de determinadas ontologias, a linguagem em que elas foram descritas, a tradução delas para uma ontologia conhecida, etc. Entretanto, a FIPA deixa claro que nem todos os serviços que se deseja serão efetivamente prestados pelo OA. Ele pode não ser capaz de atender à solicitação, informando sobre sua incapacidade.

O *framework Java Agent DEvelopment Framework* (JADE) (JADE, 2010), totalmente desenvolvido em Java, é um exemplo de implementação das especificações da FIPA. Trata-se de um ambiente de desenvolvimento que possui uma API e um *middleware* para construção de sistemas multiagentes. Além disso, fornece também uma série de ferramentas gráficas para testes dos agentes e supervisão humana. Sua licença de uso é a *Lesser General Public License Version 2* (LGPL2), onde o uso é permitido para qualquer tipo de aplicação, mantendo-se o crédito da plataforma e respeitando-se a reciprocidade da melhoria do código. É mantido por

uma comunidade patrocinada por Telecom Itália LAB, Motorola, Whitestein Technologies AG., Profactor GmbH e France Telecom R&D.

Como todo *framework* aderente aos padrões FIPA, o JADE apresenta suporte às Mensagens FIPA ACL. Além disso possui um mecanismo próprio de tratamento de ontologias, baseado na criação de uma conjunto de estruturas hierárquicas de dados denominadas *Schemas* (já que a FIPA ainda não publicou como padrão os serviços do OA). Os *Schemas* organizam os termos, conceitos, predicados, valores primitivos, dentre outros elementos, e serve tanto para que uma agente JADE seja capaz de manipular informação semânticas, quanto para gerar e interpretar mensagens com conteúdo semântico.

Nesse contexto, a arquitetura proposta, através do PSSGRT, poderia auxiliar os agentes FIPA das seguintes formas:

1. Possibilitar o acesso direto às ontologias utilizadas na comunicação interagentes, fornecendo o conteúdo semântico (arquivos com a implementação de uma ontologia – por exemplo OWL 2); ou
2. Fornecer serviços semânticos, através de uma interface não aderente à FIPA ACL (por exemplo uma interface de comunicação Java RMI); ou
3. Apresentar uma implementação que faça o papel do *Ontology Agent* e que se comunique de forma padronizada com os agentes FIPA.

Na implementação experimental do capítulo 6 é utilizado o JADE como *framework* de construção de um agente com características EG3S em um fragmento de aplicação de *Service Level Agreement* (SLA). Esse agente utiliza a opção 2, uma vez que toda a infraestrutura de software é baseada na tecnologia JAVA.

5.10 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

O presente capítulo apresentou a proposta de uma arquitetura baseada em serviços semânticos como um elemento facilitador da implementações de soluções de autogerenciamento de redes de transporte. Em seguida descreveu uma

especificação da arquitetura e de seu elemento funcional mais importante, o Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte. Também foram analisadas as tecnologias candidatas a uma Implementação de Referência, embora não tenha sido abordada a implementação em si. Por fim, descreveu resumidamente a Ontologia Central à arquitetura proposta, contemplando o domínio da Redes de Transporte segundo a ITU-T G.805.

A proposta apresentada tem como contribuição a mudança do atual paradigma de construção de sistemas de autogerenciamento de redes, cuja principal crítica é não apresentarem arquiteturas capazes de estabelecer um ecossistema. A falta de interoperabilidade e reusabilidade dos modelos semânticos a respeito da Rede e da Gerência de Redes impede que entidades heterogêneas tenham “consciência” de seu papel no ecossistema e se autorregulem na busca das condições ótimas de operação coletiva.

No capítulo 6 é apresentada uma implementação experimental para demonstrar a utilização da arquitetura proposta em um fragmento de aplicação de Aprovisionamento e Gestão de SLA. Seu objetivo é avaliar a viabilidade do novo paradigma de construção de sistema de autogerenciamento proposto nesta tese.

6 IMPLEMENTAÇÃO EXPERIMENTAL

6.1 INTRODUÇÃO

Para ilustrar a contribuição pretendida por esta tese, este capítulo apresenta uma implementação simplificada da arquitetura proposta. Essa implementação serve de suporte a uma Entidades de Gerência da Gestão do Nível de Serviço Acordado (*Service Level Agreement* - SLA) em Redes Ópticas de Transporte. A escolha desse microuniverso se deve às seguintes razões:

- Estreito relacionamento entre a recomendação ITU-T G.805 (arquitetura abstrata de redes de transporte) e a ITU-T G.872 (arquitetura abstrata de uma rede óptica de transporte);
- Simplicidade da arquitetura OTN, proposta pela ITU-T G.872 (apenas três camadas abstratas);

A implementação apresentada aqui não tem por objetivo estabelecer um padrão tecnológico para a implementação física da arquitetura proposta. Trata-se apenas de uma implementação possível, cujo objetivo é apoiar a avaliação do potencial da proposta (Capítulo 5). O escopo dessa implementação experimental, com restrições e exclusões em relação ao domínio de Gestão de SLA, é apresentado na seção 6.3.

6.2 FUNDAMENTOS DO DOMÍNIO DE GESTÃO DE SLA EM REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

Para uma melhor compreensão das especificações e restrições propostas nesta implementação experimental, são apresentados alguns termos e conceitos do domínio de Gestão de Serviços, seguindo as recomendações da ITU-T.

6.2.1 Descrição Resumida de Uma Rede Óptica de Transporte

Uma Rede Óptica de Transporte (*Optical Transport Network – OTN*) é a subclasse das Redes de Transporte, cuja principal característica é operar os enlaces ópticos através do método de multiplexação por divisão do comprimento de onda (WDM). Sua arquitetura abstrata é descrita na recomendação G.872 da ITU-T (ITU. **G.872**, 2010), utilizando-se os conceitos fundamentais apresentados na ITU-T G.805.

De forma resumida, uma Rede Óptica de Transporte tem sua arquitetura abstrata definida por três camadas tecnológicas: Camada do Canal Óptico (OCh), Camada da Seção de Multiplexação Óptica (OMS) e Camada da Transmissão Óptica (OTS). Todos os demais componentes abstratos de uma rede de transporte são válidos para as redes ópticas de transporte, embora recebam nomes específicos, associados às camadas descritas anteriormente.

6.2.2 Serviço Prestado(*Service*)

Segundo a recomendação E.800 da ITU-T (*Definitions of terms related to quality of service*), a definição de Serviço é: “*A set of functions offered to a user by an organization constitutes a service.*”

Trata-se de um conjunto de funções independentes que fazem parte de um processo, que tem por objetivo apresentar um resultado final (estado final) esperado. Comumente, o Serviço também é chamado de Serviço Prestado. O fornecimento de um serviço cada vez mais envolve uma composição de serviços mais básicos, envolvendo múltiplos Prestadores de Serviço e diferentes acordos operacionais entre eles, até que se possa alcançar o resultado esperado.

6.2.3 A Conexão de Rede OTN Como um Serviço

Analisando-se a recomendação ITU-T G.805, observa-se que em uma rede de transporte multi tecnologia (multicamada) é possível se oferecer diversos tipos de

serviço (conforme a camada tecnológica que se esteja trabalhando). Entretanto, em uma Rede Óptica de Transporte (ITU-T. **G.872**, 2010), o serviço básico a ser oferecido é a Conexão de Rede do Canal Óptico.

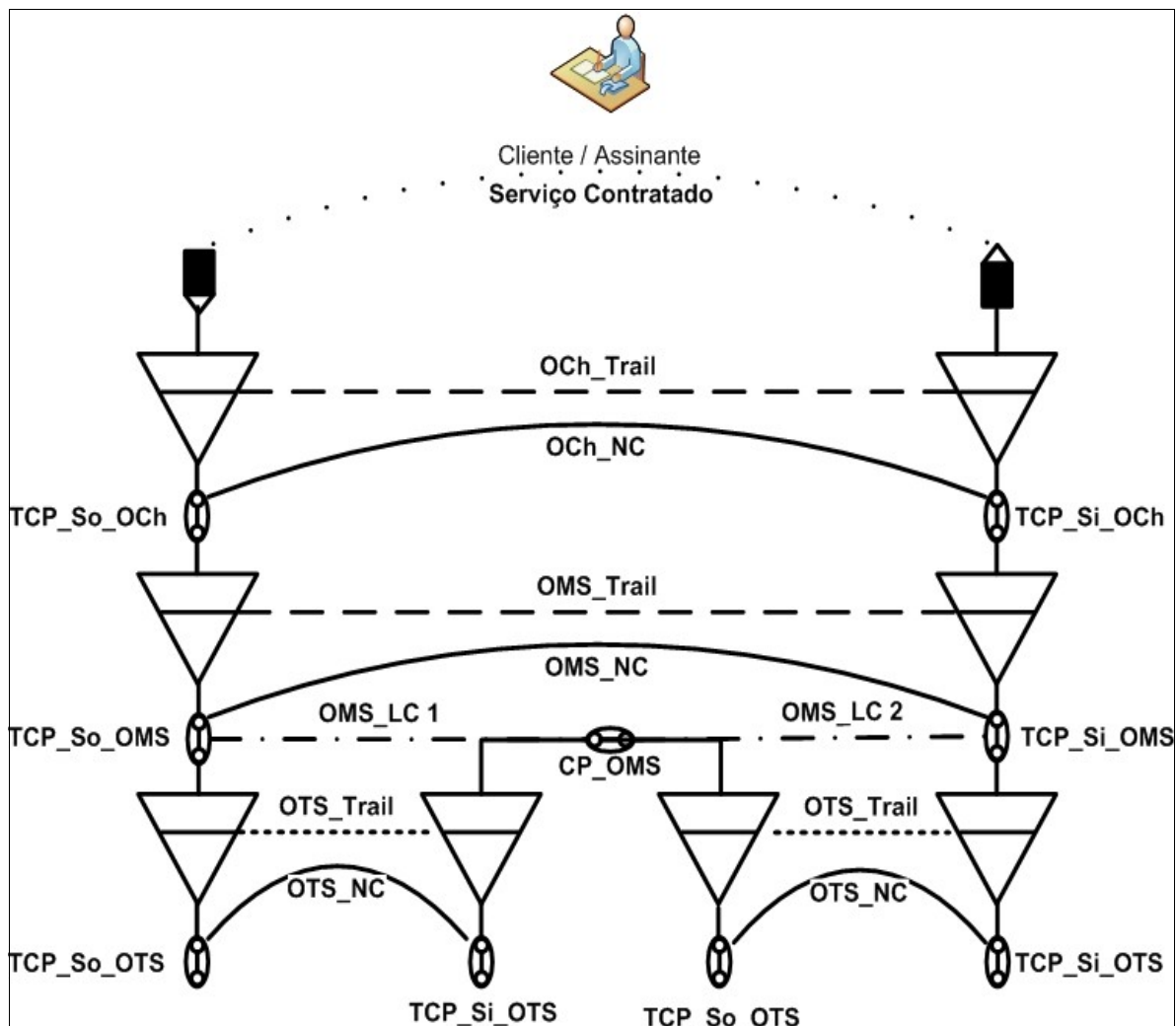


Figura 36: Visão do Serviço Óptico de Transporte

A Figura 36 apresenta uma rede OTN simples, onde apenas uma Conexão de Rede (*Network Connection* – NC) da camada do Canal Óptico (*Optical Channel* - OCh) está disponível. Por outro lado, as Conexões de Rede das camadas inferiores (*Optical Multiplex Session* – OMS e *Optical Transmission Session* – OTS) se apresentam apoiadas em múltiplas conexões intermediárias (parciais), tais como OMS_LC 1 e OMS_LC 2.

6.2.4 Service Level Agreement (SLA)

O Nível de Serviço Acordado, segundo a recomendação E.800 da ITU-T (*Definitions of terms related to quality of service*), é:

“A service level agreement is a formal document listing a set of performance characteristics and target values (or range) to be delivered for a service or portfolio of services by the service provider. NOTE – A SLA may include statements about performance, tariffing and billing, service delivery compensations and escalation procedures in cases of disagreement.”

Em outras palavras, o termo SLA significa um acordo formal estabelecido entre duas partes. É um contrato que existe entre o Provedor de Serviço e o Usuário/Cliente. É definido para criar um entendimento comum sobre o serviço contratado. São aspectos tais como: qualidade, prioridades, responsabilidades, etc. Um SLA pode cobrir vários aspectos do relacionamento entre o cliente e o provedor de serviço, tais como: desempenho dos serviços, *billing* (geração de contas e relatórios de utilização), provisionamento de serviço, multas e compensações, etc.

Independentemente da composição, em termos de funcionalidades e recursos mais básicos, para a oferta de um Serviço, o SLA é o conjunto de características visíveis para o Usuário/Cliente. Quaisquer outras características, mesmo que relevantes para a obtenção/determinação do SLA, fazem parte de um outro conceito: *Operational Level Agreement (OLA)*.

6.2.5 Parâmetro de SLA

Segundo a recomendação E.800 da ITU-T, um Parâmetro é: *“A quantifiable characteristic of a service with specified scope and boundaries. Example: The parameter for estimating the 'misdialling probability' would be expressed as: 'The number of misdialled calls per 100 call attempt'”*. Trata-se de um atributo (característica) sobre o qual se pode especificar um escopo e um intervalo de valores possíveis.

Os Parâmetros são de dois tipos:

- **Objetivos:** que podem ser medidos (observados ou capturados por instrumentos) e representados através de valores pertencentes a uma Unidade de Medida (*Mesure*). São também chamados de quantitativos;
- **Subjetivos:** que podem ser expressos usando-se o entendimento e o julgamento (percepção) humanos. São também chamados de qualitativos;

Um Parâmetro de SLA possui:

- **Indicador (*Metric*):** valor calculado ou medido para um parâmetro;
- **Unidade de Medida (*Mesure*):** unidade pela qual o indicador pode ser expresso;
- **Objetivo (*Benchmark*):** valor de referência (objetivo a ser alcançado/mantido) para um Parâmetro;
- **Natureza Objetivo:** se o estado de normalidade de medidas para um parâmetro é atingido através do:
 - Objetivo de Piso – o Indicador não deve ser inferior ao Objetivo;
 - Objetivo de Teto – o Indicador não deve ser superior ao Objetivo;

6.2.6 *Operational Level Agreement (OLA)*

Similar ao SLA, o OLA representa o conjunto de parâmetros que são adotados para se determinar a qualidade dos serviços (funções) que compõem o Serviço Prestado. Muitas vezes os Parâmetros do OLA são idênticos aos do SLA, mas a diferença entre esses dois conceitos reside na impossibilidade do Usuário/Cliente enxergar os parâmetros do OLA.

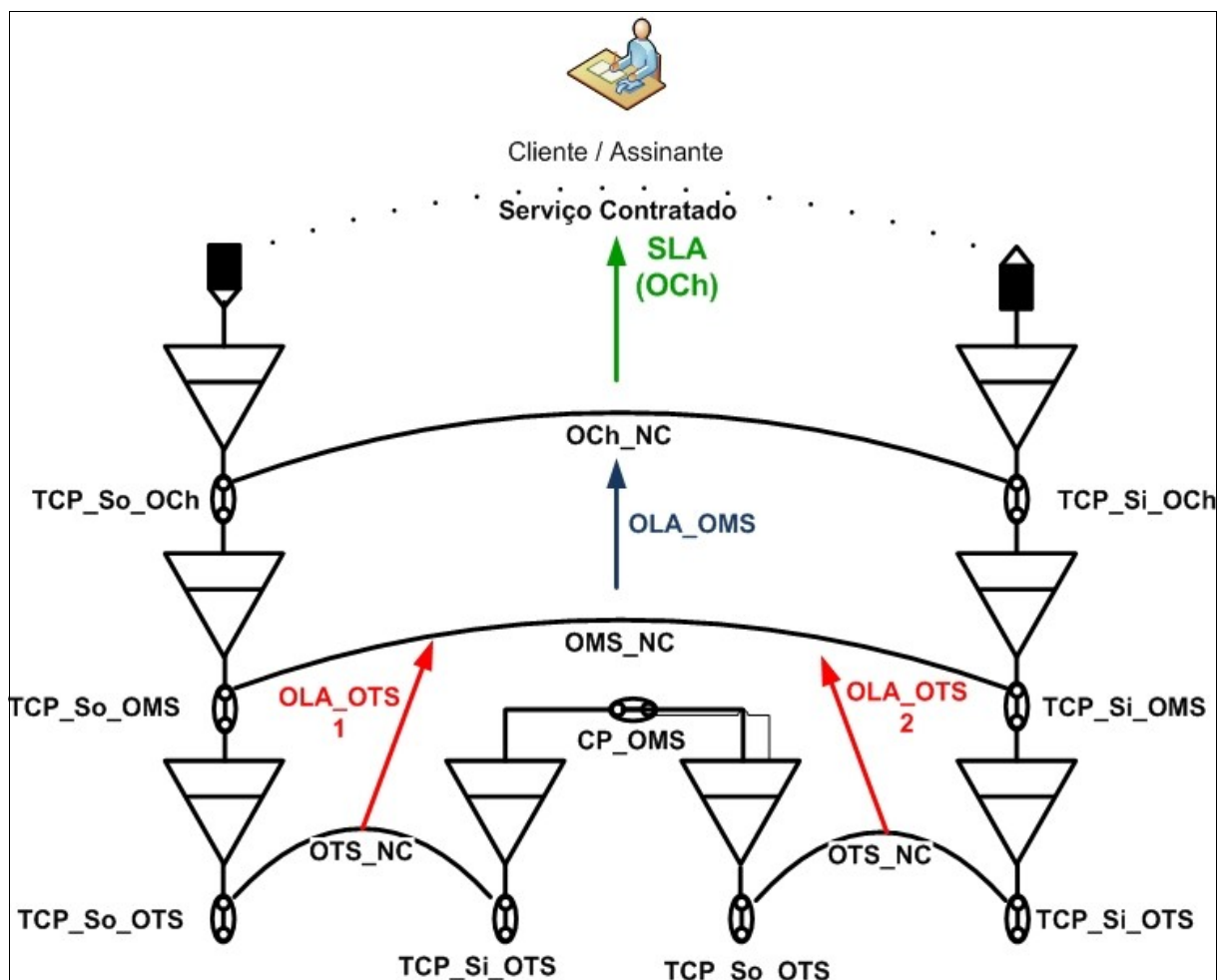


Figura 37: Formação do SLA da Camada OCh

Muitas vezes, o SLA é obtido através de uma agregação (Funções de Convolução) de um ou mais OLAs, conforme ilustra a Figura 37. Observa-se que os OLAs: OLA_OTS1 e OLA_OTS2; devem ser combinados para se obter o OLA_OMS. Por sua vez o SLA (OCh) é obtido através dos parâmetros do OLA_OMS.

Essas funções de convolução se comportam de maneira diferente, conforme a Natureza do Objetivo de um Parâmetro de OLA/SLA e conforme a configuração dos recursos, facilidades ou funções.

6.2.7 Concatenação de Parâmetros para a Formação de SLA/OLA de Camadas Superiores

Conforme mencionado anteriormente, a determinação de um OLA ou SLA para um Serviço Prestado dependerá da concatenação de Parâmetros de OLAs de Camadas Inferiores da Rede. As Figuras 38 e 39 mostram que o OLA da Conexão OMS_NC é formado pela concatenação de OLA_OTS1 e OLA_OTS2.

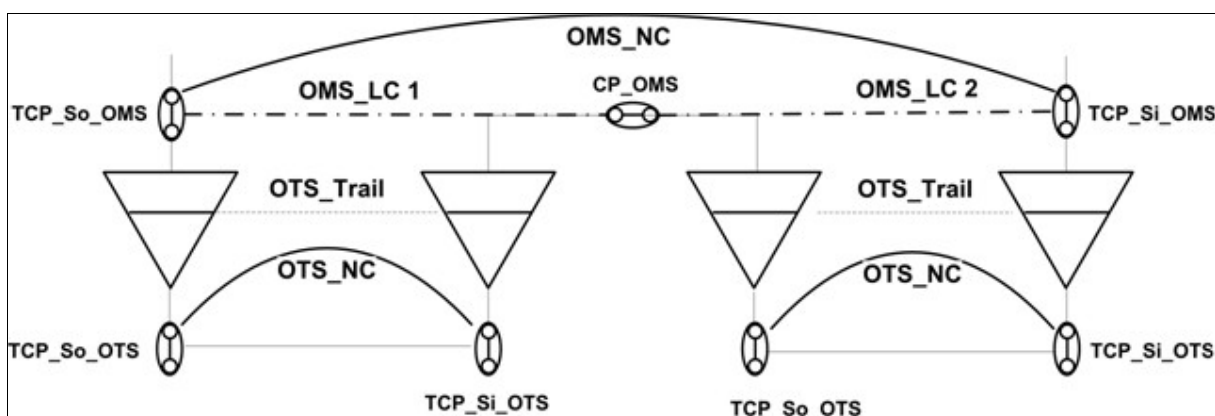


Figura 38: Caminho de Suporte de uma Conexão OMS

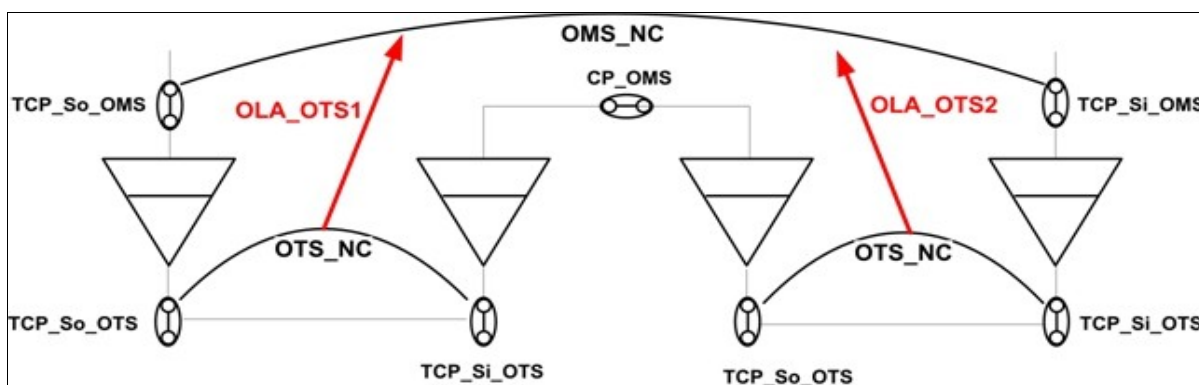


Figura 39: Concatenação para Geração do OLA do OMS_NC

Nesta tese o termo Função de Convolução é empregado para designar uma regra de concatenação de Parâmetros de OLA para a formação de um OLA/SLA de camada superior em uma rede de transporte.

A regra específica a ser aplicada pela Função de Convolução depende do Parâmetro de OLA e da configuração/ligação dos recursos e facilidades de suporte do Caminho (*Path*).

6.2.8 Função de Convolução de Conjunção – Produtório (FCC-P)

Essa função promove o Produtório dos indicadores (relativos ao mesmo parâmetro em questão) quando esses representam:

- Parâmetros que expressam probabilidade de ocorrência de um evento benéfico para o Usuário/Cliente;
- Configurados em uma Ligação em Série;

$$FCC - P_{(\text{Parâmetro})} = \prod_{i=1}^n \text{Indicador}_i (\text{Parâmetro})$$

Quadro 1: Função de Convolução de Conjunção – Produtório (FCC-P)

Um exemplo é a determinação do parâmetro Disponibilidade da Conexão OMS_NC, através da disponibilidade de OLA_OTS1 e OLA_OTS2.

6.2.9 Função de Convolução de Conjunção – Somatório (FCC-S)

Essa função promove o somatório dos Indicadores (relativos ao mesmo Parâmetro em questão) quando esses representam:

- Parâmetros que expressam a capacidade (quantitativa) intrínseca (desempenho) do serviço;

- Configurados em uma Ligação Paralela onde os elementos funcionam simultaneamente;

$$\text{FCC} - S_{(\text{Parâmetro})} = \sum_{i=1}^n \text{Indicador}_i (\text{Parâmetro})$$

Quadro 2: Função de Convolução de Conjunção – Somatório (FCC-S)

6.2.10 Função de Convolução de Disjunção – Mínimo (FCD-Min)

Essa função promove o a seleção do menor Indicador dentre os Indicadores considerados (relativos ao mesmo Parâmetro em questão) quando esses representam:

- Parâmetros que expressem a capacidade máxima ou o melhor desempenho do recurso/facilidade;
- Configurados em uma Ligação Serial ou Paralela (nessa última quando os elementos não funcionam simultaneamente);

$$\text{FCD} - \text{Min}_{(\text{Parâmetro})} = \text{Menor}(\text{Indicador}_1, \dots, \text{Ind}_n)_{(\text{Parâmetro})}$$

Quadro 3: Função de Convolução de Disjunção – Mínimo (FCD-Min)

6.2.11 Função de Convolução de Disjunção – Máximo (FCD-Max)

Essa função promove o a seleção do maior Indicador dentre os Indicadores considerados (relativos ao mesmo Parâmetro) quando esses representam:

- Parâmetros que expressem a capacidade mínima ou o pior desempenho do recurso/facilidade;
- Configurados em uma Ligação Serial ou Paralela (nessa última quando os elementos não funcionam simultaneamente);

$$\text{FCD - Max}_{(\text{Parâmetro})} = \text{Maior}(\text{Indicador}_1, \dots, \text{Ind}_n)_{(\text{Parâmetro})}$$

Quadro 4: Função de Convolução de Disjunção – Máximo (FCD-Max)

6.3 A ONTOLOGIA DE EXTENSÃO – SLA DE REDES DE TRANSPORTE

A extensão proposta nesta implementação experimental procurou capturar apenas a essência do domínio de SLA, se limitando aos requisitos e restrições assumidos na seção 6.4. Ela não deve ser encarada como um exemplo de extensão a ser produzida para a melhoria dos serviços semânticos da arquitetura proposta.

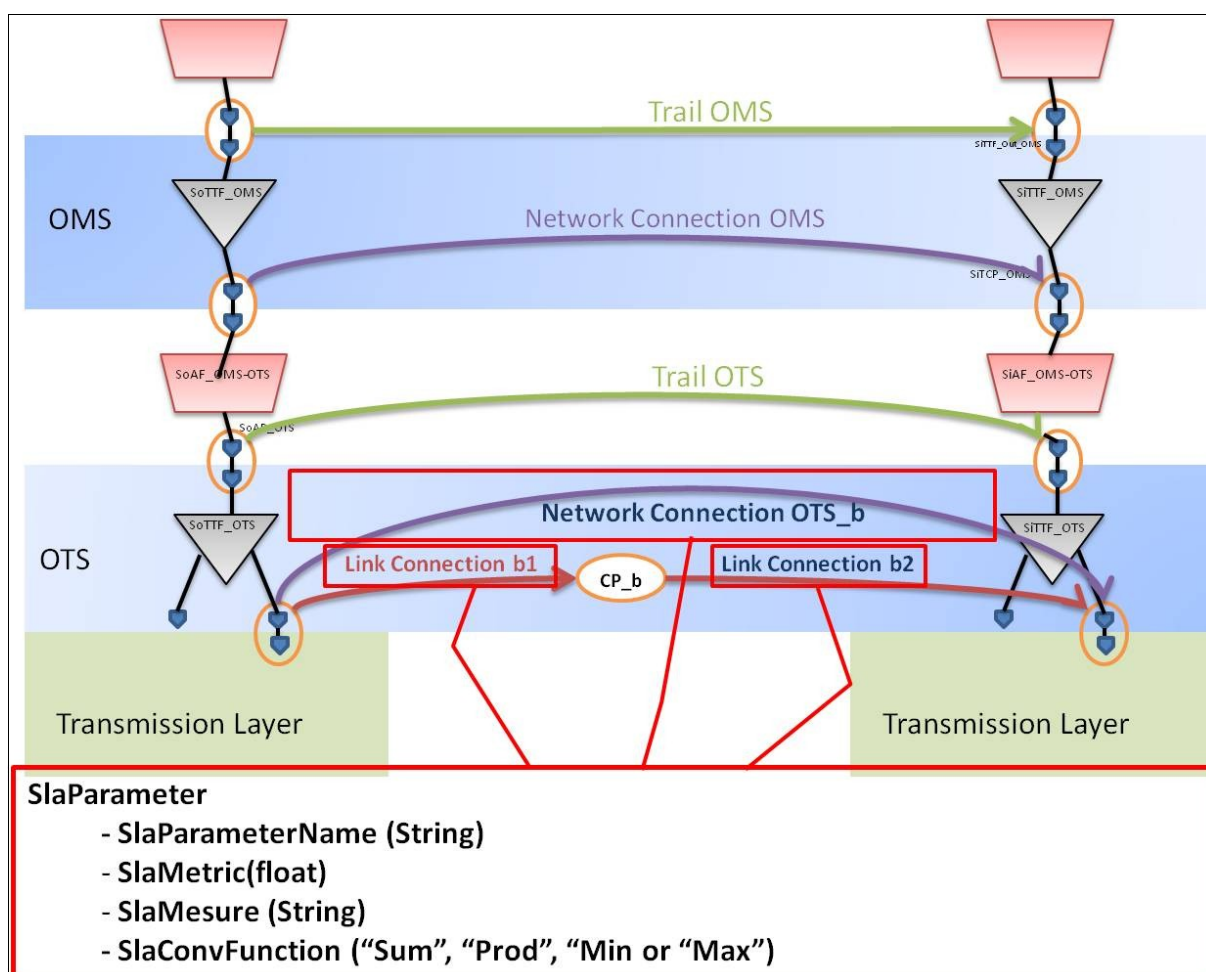


Figura 40: Extensão da Ontologia de Redes de Transporte para o Domínio de SLA

Estruturalmente, a extensão aqui apresentada deve se posicionar como uma Extensão Proprietária, não interferindo nas demais ontologias de suporte aos serviços semânticos, conforme esclarece a Figura 19 (seção 5.3.2).

Por questões intrínsecas, os parâmetros de SLA/OLA são, geralmente, atribuídos aos enlaces de uma rede. Dos conceitos apresentados na seção 6.2, observa-se que a classe das *Connections* (Conexões - conceito modelado na Ontologia Central – ITU-T G.805) é a diretamente associada ao enlace, sendo o principal alvo da gestão de OLA e SLA. Suas subclasses *Link Connection* e *Subnetwork Connection* representam enlaces que compõem o caminho (*path*). A Subclasse *Network Connection* representa um provisionamento (*path*) fim-a-fim, que deve refletir o comportamento geral do caminho. A Figura 40 mostra como os novos conceitos estão vinculados aos preexistentes. Destaca-se que foi omitido o conceito Unidade de Medida, que embora seja importante, não é usado na implementação experimental. Vale ressaltar que os conceitos de SLA estão presentes em todas as camadas tecnológicas (embora a Figura 40 não explicita isso). Isso se deve ao fato dos conceitos de SLA estarem associados à classe *Connection*, que pode estar presente em todas as camadas de rede.

Assim, observada a arquitetura abstrata de uma Rede Óptica de Transporte (ITU-T G.872), decidiu-se por modelar os seguintes conceitos:

- **Parâmetro de SLA/OLA**
 - *SLAParameter Name* (Nome do Parâmetro) = *STRING*;
 - *SLAMetric* (Indicador) = *FLOAT*;
 - *SLAMesure* (Unidade de Medida) = *STRING*;
 - *SLAConvFunction* (Função de Convolução) = *STRING* {Somatório, Produtório, Mínimo e Máximo}

Esses novos conceitos foram vinculados aos já modelados *Link Connection*, *Subnetwork Connection*, *Network Connection*. Um *Network Connection* deve refletir a composição de indicadores (através da função de convolução definida) de SLA/OLA do caminho que o compõe (*Link Connections* e *Subnetwork Connections*).

Essas afirmações podem ser observadas na Figura 37 (seção 6.2.6), onde é descrita a relação de composição de OLA/SLA entre Camadas Tecnológicas que estão vinculadas pela relação Cliente-Servidor.

6.4 A IMPLEMENTAÇÃO DA APLICAÇÃO DE GESTÃO DE SLA DE REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE

6.4.1 Escopo, Requisitos e Restrições

A implementação experimental é realizada sobre um fragmento do problema do Aprovisionamento de Serviços e Gestão de SLA da Camada OCh (*Optical Channel*).

O objetivo principal da aplicação é avaliar o SLA estimado para o provisionamento de um serviço de transporte da camada OCh. Com base no modelo conceitual da rede analisada, o Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes Transporte deve fornecer facilidades para que uma Entidade de Gerência seja capaz de realizar essa tarefa.

Como principais **requisitos** da aplicação, têm-se:

- I. A Entidade de Gerência de SLA deve procurar pelo Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte. Caso não o encontre, deve optar por um modo de operação alternativo, inclusive a não operação. Esse modo alternativo está fora do escopo da implementação experimental;
- II. A Entidade de Gerência de SLA deve possuir meios para avaliar se o ambiente que será gerenciado possui a Camada Tecnológica OCh, para qual desempenhará seu papel. Caso contrário, a Entidade de Gerência deve se declarar desabilitada para a tarefa;
- III. A Entidade de SLA deve possuir meios de avaliar se existe alguma outra Entidade de Gerência de SLA operando na mesma camada tecnológica. Caso exista, a operação deve ser encerrada. Caso não exista, um registro deve ser feito junto ao Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte;

- IV. A Entidade de Gerência de SLA deve consultar os Pontos de Referência Terminais (TCP) da Camada OCh e recuperar aqueles que ainda estão disponíveis para provisionamento (não provisionados);
- V. A Entidade de Gerência de SLA deve avaliar se existem as condições necessárias (topológicas) para um provisionamento entre duas portas OCh disponíveis. Deve repetir essa investigação para quaisquer dois pares de porta onde seja possível o provisionamento;
- VI. Para os pares de portas onde é possível efetuar o provisionamento, a Entidade de Gerenciamento de SLA deve estimar, baseado nas condições presentes no modelo, qual será o SLA provável para o serviço provisionado.

Para que a implementação experimental seja bem delimitada, mas mantenha-se alinhada com as contribuições pretendidas pela proposta, faz-se necessário impor as seguintes **restrições e considerações**:

- A. Uma ontologia de extensão, a respeito dos termos específicos de SLA, está disponível para o Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes Ópticas de Transporte. Essa operação de extensão está prevista como um dos serviços da arquitetura, mas a implementação desse serviço está fora do escopo de desenvolvimento desta implementação experimental;
- B. Apenas o parâmetro Disponibilidade (*Availability*) é implementado para os testes e validação da implementação experimental;
- C. A formação dos Indicadores de SLA/OLA envolve a coleta e o resumo de Dados Operacionais (extraídos dos Elementos de Rede). Considera-se aqui que os indicadores de SLA/OLA estão disponíveis para sua consulta através da Base de Informações Semânticas. A atualização dessa base, através da coleta de dados e resumo de informações, e o reflexo desses indicadores nas informações semânticas não estão no escopo de desenvolvimento desta implementação experimental;
- D. Uma mudança de topologia da rede gerenciada não deve impor uma mudança de código (programação) da Entidade de Gerência de SLA;

- E. Na ausência do PSSGRT, a Entidade de Gerência de SLA encerra suas atividades;
- F. Caso uma Entidade de Gerência de SLA da Camada OCh já esteja registrada no ambiente, quaisquer outras na mesma função se considerarão desabilitadas.

6.4.2 As Escolhas de Implementação da implementação experimental

Visando uma maior facilidade de implementação e integração de componentes, foi escolhida a tecnologia JAVA para a implementação experimental. Além das tradicionais vantagens da portabilidade e abrangência das APIs disponíveis, a tecnologia JAVA proporcionou ao longo dos anos a criação de inúmeros *frameworks*, componentes e padrões de desenvolvimento que trazem grande versatilidade e agilidade para o desenvolvimento de aplicações distribuídas.

6.4.2.1 O Middleware de Implementação do Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte

Para o papel do *middleware* de implementação da arquitetura optou-se pelo padrão OSGi (OSGI ALLIANCE, 2010). Essa escolha se deve aos seguintes fatores:

- Ser um padrão aberto e totalmente proposto para implementação em JAVA;
- Possuir um conjunto mínimo de serviços nativos capazes de cobrir as necessidades da implementação experimental;
- Possuir uma semântica de serviços muito próxima da tecnologia *Java Remote Method Invocation*, facilitando a compreensão de seus conceitos de invocação de serviços remotos;
- Possuir aderência ao *framework* de agentes JADE, utilizado para o desenvolvimento da Entidade de Gerência de SLA.

Dentre as implementações disponíveis do OSGi está a Eclipse Equinox. Sua escolha se deveu a sua maturidade e sua integração com o ambiente de desenvolvimento Eclipse (IDE Eclipse). Entretanto, qualquer módulo (*bundle*) desenvolvido para um *middleware* OSGi é compatível com qualquer implementação do padrão.

Outra característica interessante do padrão OSGi é sua capacidade de controlar, dinamicamente, sem necessidade de indisponibilidade de toda a plataforma, o ciclo de vida dos serviços nele implantados. Os serviços podem ser instalados, atualizados e desinstalados sem a necessidade de se iniciar todo o conjunto de serviços que estão operando na mesma plataforma. Essa característica não foi explorada nesta implementação experimental.

6.4.2.2 A Tecnologia de Implementação das Interfaces de Acesso aos Serviços

Como consequência da escolha do OSGi, as interfaces de acesso aos serviços do Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte são descritas, nativamente, através da tecnologia JAVA (*Java Interface*). Para simplicidade dos componentes desenvolvidos, a Interface (Subcamada de Interface de Acesso) e a Entidade de Controle (Subcamada da Entidade de Controle) estarão no mesmo artefato de software, o *bundle*.

O padrão OSGi oferece um serviço de localização onde as aplicações que estejam vinculadas ao mesmo *middleware* podem localizar as implementações para as interfaces desejadas. Esse serviço, conhecido como “Páginas Brancas”, é de grande utilidade para um sistema distribuído, dando-lhe maior Transparência de Localização (TANENBAUM; STENN, 2007). Esse é o mecanismo padrão pelo qual as Entidades de Gerenciamento devem localizar a presença do Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte e fazer uso de seus serviços.

6.4.2.3 A Arquitetura Física

Como consequência das escolhas de implementação, a arquitetura física da implementação experimental é apresentada na Figura 41. Os elementos nela descritos realizam as seguintes funções:

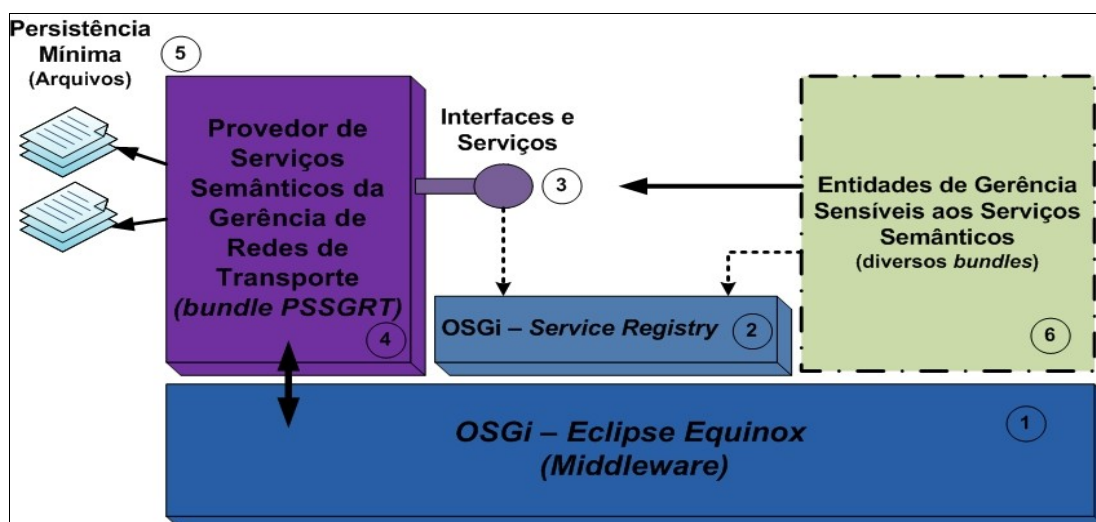


Figura 41: Arquitetura Física da Implementação da Camada Semântica da Gerência de Redes de Transporte

1. **Middleware OSGi** – base da implementação da implementação experimental;
2. **OSGi Service Registry** – localizador de serviços, responsável por apontar o *bundle* que implementa uma determinada interface. Materializa o conceito de Transparência de Localização dos serviços disponíveis.
3. **Interfaces de Serviços JAVA** – onde são definidas as Interfaces e Serviços providos pelo Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes Ópticas de Transporte;
4. **Bundle (módulo)** – artefato monolítico contendo todas as implementações das funcionalidades (expostas pelas Interfaces) do Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte;

5. **Persistência Mínima** – arquivos que fazem a persistência mínima necessária para a operação do PSSGRT;
6. **Diversos *bundles*** – representam as Entidades de Gerência Sensíveis aos Serviços Semânticos (EG3S), construídas através de *bundles*, que podem utilizar os serviços providos pelo Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte.

6.4.3 A Definição das Interfaces e Serviços

Para a implementação experimental os serviços efetivamente utilizados são descritos em uma mesma Interface JAVA, `IPssgrtServices`, uma vez que esse é um requisito para implementação através do padrão OSGi. A seguir é apresentada a descrição JAVA da interface efetivamente implementada.

```
package br.ufes.de.pssgrt;

public interface IPssgrtServices {
    //===== Serviços de Contexto =====

    public String GetContextoInfo();

    // ===== Serviços Topológicos e Estruturais =====

    public String GetSubRedesRegistradas();

    public String GetCamadaTecnologicaSubRede(String subRede);

    public String GetSourceTcps(String camada, String
                                subRede);

    public String GetSinkTcps(String camada, String subRede);

    public String GetNetConn(String camada, String subRede);

    public String GetCaminho(String netConnection, String sub
                                Rede);

    public String GetSlaInfo(String elementoConnection, String
                                subRede);
}
```

```
// ===== Serviços de Informação Sobre o Ecossistema =====  
  
    public String PaginasBrancasEntiGer(String camada, String  
                                       entiFuncao);  
    public String RegistroEntiGer(String entiName,  
                                  String entiFabricante, String entiVer, String  
                                  camada, String entiFuncao);
```

Vale ressaltar que estão descritos apenas os serviços efetivamente utilizados pela implementação experimental.

6.4.4 O Micro Protocolo de Aplicação Derivado das Interfaces

Observa-se que todos os serviços declarados na interface descrita anteriormente retornam um objeto do tipo *String*. Essa decisão foi tomada para que não exista a necessidade de criação de objetos mais complexos e específicos para cada serviço declarado.

Essa definição também levou à necessidade da especificação de um micro protocolo de aplicação com as seguintes regras:

- i. A *String* de retorno é dividida em 2 campos:
 - Primeiro Campo; e
 - Segundo Campo.
- ii. O Primeiro Campo indica a quantidade de elementos presentes no Segundo Campo;
- iii. O tipo de dado do Primeiro Campo é um Inteiro. Sua representação é feita através dos delimitadores “!?:” e “!?:”;
- iv. O Segundo Campo traz uma lista de elementos, atômicos ou compostos, separados pelo delimitador “!@”.

- v. Caso um elemento contido no Segundo Campo seja composto, seus membros são separados pelo delimitador “;”. A ordem dos membros deve ser mantida em todos os elementos de mesmo tipo.

Um exemplo de mensagem de retorno, seguindo o micro protocolo anterior, pode ser visto a seguir, onde o serviço `GetContextoInfo()`, da interface `IpssgrtServices`, que retorna a seguinte **String**:

```
!?:3!?:Camada Semântica da Gerência de Redes Ópticas de
Transporte!@BR.UFES.CSGR!@1.0!@
```

Esta abordagem permite a aplicação de mecanismos bastante simples de recuperação de *tokens* dentro de uma *String*, garantindo compatibilidade com a maioria das linguagens de programação em que uma Entidade Gerenciamento pode ser codificada.

6.4.5 A Implementação da Entidade de Controle do Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte

Embora o Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte tenha sido concebido com uma estrutura interna modular e separada em camadas, optou-se aqui por diminuir a complexidade de sua implementação. Considerando o uso de um *middleware* no padrão OSGi, as seguintes simplificações de implementação foram adotadas:

- O PSSGRT tem uma única Entidade de Controle, implementada em um único artefato de software, constituindo um bloco monolítico denominado *bundle*, conforme padrão OSGi. Esse *bundle* é o responsável direto pela implementação de todos os serviços da interface `IPssgrtServices`.
- A Subcamada do Motor de Inferência Lógica não é implementada conforme a especificação preliminar. O motor de inferência e a base de informações semânticas estão embutidos no mesmo bloco monolítico da Entidade de Controle.

- A API de suporte à Ontologia Computacional e à inferência lógica é o JENA 2 (JENA, 2010), apoiado pelo motor de inferência Pellet (CLARK & PERSIA, 2010);
- A Subcamada do Motor de Persistência original não é implementado. A persistência mínima será fornecida por arquivos, todos manipulados através da API do JENA 2;

6.4.5.1 O Uso da API JENA 2

O núcleo da implementação da Entidade de Controle é provido pela API JENA 2 (JENA, 2010), na qual se encontram serviços de manipulação de arquivos de ontologia, consulta lógica, conversão de representações (sintaxe) e inferência lógica.

O construtor da classe que implementa os serviços da interface IPssgrtServices faz a carga e preparação da ontologia para que ela seja consultada. Essa ação é ilustrada no trecho de código a seguir.

```
public ImpPssgrtServices() throws IOException{

//Criação da estrutura que representará a Ontologia da Rede 1.
// usa o Pellet como Motor de Inferência)
    this.redel = ModelFactory.createOntologyModel(
        PelletReasoerFactory.THE_SPEC);

// Abrindo o arquivo da Ontologia
    InputStream in = FileManager.get().open(inputFileName);
    if (in == null){
        throw new IllegalArgumentException("File: " +
inputFileName + " not found");
    }
    else System.out.println("Arquivo carregado com suces-
so!");

// Carregamento da Ontologia para Memória (RDF/XML)
    this.redel.read(in, null);
    Reasoner reasoner = ReasonerRegistry.getOWLReasoner();
    reasoner = reasoner.bindSchema(redel);
    this.rede = ModelFactory.createInfModel(reasoner, redel);
```



```

        in.close();
    }

```

Observando o trecho de código descrito anteriormente, verifica-se que os conceitos de uma ontologia são carregados de um arquivo OWL para a memória principal do computador. Os conceitos em memória são agrupados em uma entidade chamada de Modelo. Esse modelo é entregue ao motor de inferência lógica, que deriva os fatos lógicos inerentes. Sobre o modelo e suas inferências é possível fazer consultas que dizem respeito aos indivíduos, classes, propriedades e valores presentes. Dessa forma se alcança o nível mais básico de inferência lógica. O trecho de código a seguir mostra a implementação do serviço `GetCamadaTecnologicaSubRede(String subRede)`, da interface `IpssgrtServices`, onde os indivíduos da classe Camada de Rede (`Path_Layer_Network`) são recuperados e enviados, via Micro Protocolo *String*, para o usuário do serviço.

```

public String GetCamadaTecnologicaSubRede(String subRede) {
    String query = this.queryPrefixo + " " +
        "SELECT ?camada " +
        "WHERE { " +
        "?camada rdf:type ?x . " +
        "?x rdfs:subClassOf
            base:Path_Layer_Network" +
        "}";
    // Cria o parser SPARQL e carrega a query
    Query q = QueryFactory.create(query);

    // Cria o motor de execução da query carregada
    sobre a ontologia
    QueryExecution qe = SparqlDLExecutionFactory.-
create( q, modelo_da_rede );

    // Faz a consulta e recebe o resultado
    ResultSet rs = qe.execSelect();

    // Formata o resultado no padrão do Micro Proto-
colo de String
    String msg = microProtocolFormatter(rs);

    //Libera os recursos de consulta
    qe.close();
    //Retorna a mensagem conforme padrão estabelecido
    return msg;
}

```

O único serviço implementado que não possui suporte da ontologia computacional é o serviço de registro de entidades de gerência: `RegistroEntiGer(...)`. Ele foi implementado através de uma tabela [Camada Tecnológica, Nome da Entidade, Função] criada em memória principal. A extensão da ontologia computacional central para dar suporte à relação entre as Entidades de Gerência é um trabalho futuro.

6.4.5.2 Empacotando a Implementação em um Bundle OSGi

Para transformar a implementação da interface `IPssgrtServices` em um *bundle*, foi criado o seguinte método ativador (padrão OSGi):

```
package br.ufes.de.pssgrt;
import org.osgi.framework.BundleActivator;
import org.osgi.framework.BundleContext;

public class Activator implements BundleActivator {

    public void start(BundleContext context) throws Exception {
        String nomeServico = IPssgrtServices.class.getName();

        //Ativa a implementação do Provedor de Serviços Semânticos
        Object obj = new ImpPssgrtServices();

        context.registerService(nomeServico, obj, null);
        System.out.println("IPssgrtServices ativado...");
    }

    public void stop(BundleContext context) throws Exception {
        System.out.println("IPssgrtServices desativado...");
    }
}
```

Além disso, é necessário empacotar todos os elementos (interface, implementação e ativador) em um pacote JAR (*Java Archive*), onde também deve ser inserido um arquivo de declaração (*Manifest*), tal como o apresentado a seguir.

```

Manifest-Version: 1.0
Bundle-ManifestVersion: 2
Bundle-Name: Pssgrt
Bundle-SymbolicName: br.ufes.de.pssgrt
Bundle-Version: 1.0.0
Bundle-Activator: br.ufes.de.pssgrt.Activator
Bundle-Localization: plugin
Import-Package: org.osgi.framework;version="1.3.0"
Export-Package: br.ufes.de.pssgrt

```

O *Manifest* é utilizado pelo *middleware* OSGi para controlar dependências, permissões de acesso, versão e localização de serviços.

6.4.6 A Implementação de Uma Entidade de Gerência EG3S de SLA - Agente de Gestão de SLA

Para completar os elementos funcionais da arquitetura proposta, foi desenvolvida uma Entidade de Gerência com as características funcionais de uma Entidade de Gerência Sensível aos Serviços Semânticos (EG3S). Foi escolhida a tecnologia de agentes para que a implementação experimental pudesse apresentar um cenário típico de uma solução de Autogerenciamento.

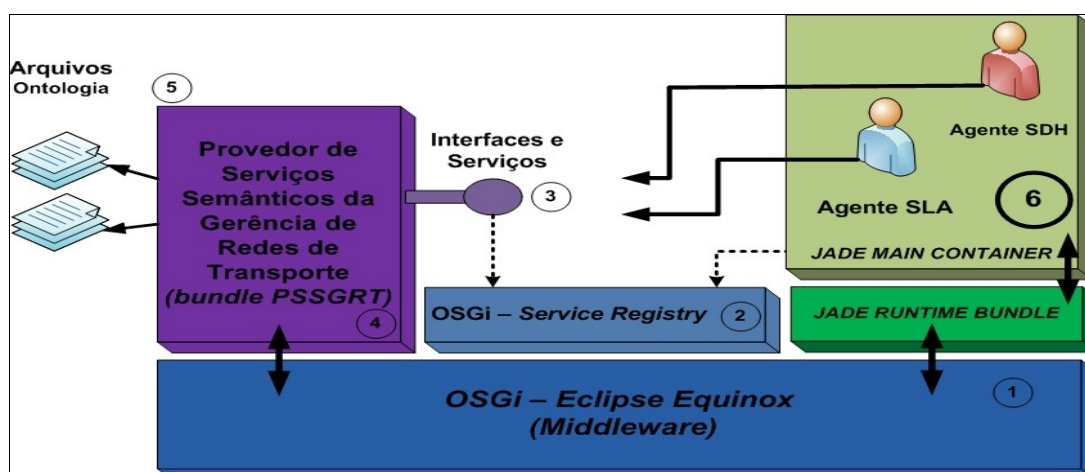


Figura 42: Arquitetura Física Final: agentes no papel de EG3S

Como *framework* de desenvolvimento de agentes é utilizado o JADE, uma vez que ele está disponível para ser instanciado em um *middleware* OSGi. O JADE pode tanto instanciar seu *container* de execução de agentes como os próprios agentes como uma *bundle* OSGi. Na implementação da implementação experimental são desenvolvidos dois diferentes tipos de agentes, ambos instanciados no formato padrão JADE (que executam dentro de um *container*). Entretanto, o *Main Container* do JADE é um *bundle* OSGi, dando a seus agentes acesso aos serviços publicados nesse último. A Figura 42 ilustra a arquitetura física implementada.

No *framework* JADE, um agente é um código que estende a classe *Agent*. Essa extensão proporciona ao agente um método de pré-execução de *setup()* (iniciar estruturas e dependência antes da execução) e um método de pós-execução *takeDown()* (liberar os recursos alocados e finalizar os processos e comunicações em curso). O trecho de código a seguir mostra o fragmento de código do Agente SLA construído para esta implementação experimental.

```
public class AgenteSla extends Agent {

    //Declarações Iniciais
    private static Logger logger = Logger.getLogger(
        AgSlet.class.getName());
    private IPssgrtServices ipssgrtsrvs = null;
    private String result;
    private String [] Tokens;
    private static String mensagem = new String();

    //Método setup()
    protected void setup() {
        System.out.println("inicializando o AgenteSLA ...");

        //Promovendo integração com o middleware OSGi
        try {
            OSGIBridgeHelper afHelper = (OSGIBridgeHelper)
                getHelper(OSGIBridgeHelper.SERVICE_NAME);
            afHelper.init(this);
            final BundleContext context =
                afHelper.getBundleContext();
            System.out.println(this.getLocalName() +
                " esta empacotado no bundle " +
                context.getBundle().getSymbolicName());
        }
    }
}
```

A lógica a ser executada pelo agente fica a cargo da classe *Behaviour* e suas especializações. A classe *Behaviour* possui um método chamado *action()*, onde a execução se concentra. Essa abordagem permite que o agente adicione *behaviours* em tempo de execução, criando um encadeamento de tarefas. O trecho de código a seguir mostra um fragmento da declaração de um *behaviour* que utiliza os serviços semânticos do PSSGRT.

```
addBehaviour(new OneShotBehaviour() {

    public void action()
    {

        //obtendo serviços do PSSGRT
        String classe = IPssgrtServices.class.getName();
        ServiceReference sr =
            context.getServiceReference(classe);
        if (sr == null) {
            System.out.println("Provedor não Encontrado");
            System.out.println("Escolhendo alternativa
                               para operação");

            return;
        }
        ipssgrtsrvs = (IPssgrtServices)
            context.getService(sr);

        //executando serviços do PSSGRT
        result = ipssgrtsrvs.GetContextoInfo();
        Tokens = microProtocolParser (result);
        System.out.println("Localizando o Provedor de
                           Serviços Semânticos da
                           Gerência de Rede
                           de Transporte...");
    }
});
```

Resumidamente, o agente implementado segue uma sequência de passos:

1. localizar o PSSGRT. Caso não o encontre, terminar a operação;
2. Recuperar as sub-redes existentes e escolher a primeira delas;
3. Identificar Camadas Tecnológicas da rede. Caso não identifique a camada alvo, terminar a operação;

4. Identificar outras EG3S operando na mesma camada e com a mesma função (Gestão de SLA). Caso encontre, terminar a operação;
5. Registrar-se como uma EG3S da camada alvo, com a função de Gestão de SLA;
6. Recuperar os TCPs disponíveis da camada OCh da rede escolhida;
7. Calcular (formatar) as Conexões de Rede que podem ocorrer (partindo do lado *Source* em direção ao lado *Sink*);
8. Recuperar a Conexão de Rede OTS (sabendo que é uma rede OTN G.872) de suporte;
9. Verificar e recuperar as Conexões (*Link Connection* e *Subnetwork Connection*) que compõem o caminho de suporte da Conexão de Rede OTS (recuperada no passo 8);
10. Partindo dos elementos recuperados no passo 9, recuperar os atributos de OLA de cada um deles (serviço especialmente criado para a implementação experimental);
11. Repassar os valores calculados para o parâmetro de OLA para a Conexão de Rede OMS suportada pela OTS em questão. Sugerir o SLA das Conexões de Rede OCh que foram calculadas no passo 7.

6.5 OS CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO E OS RESULTADOS OBTIDOS

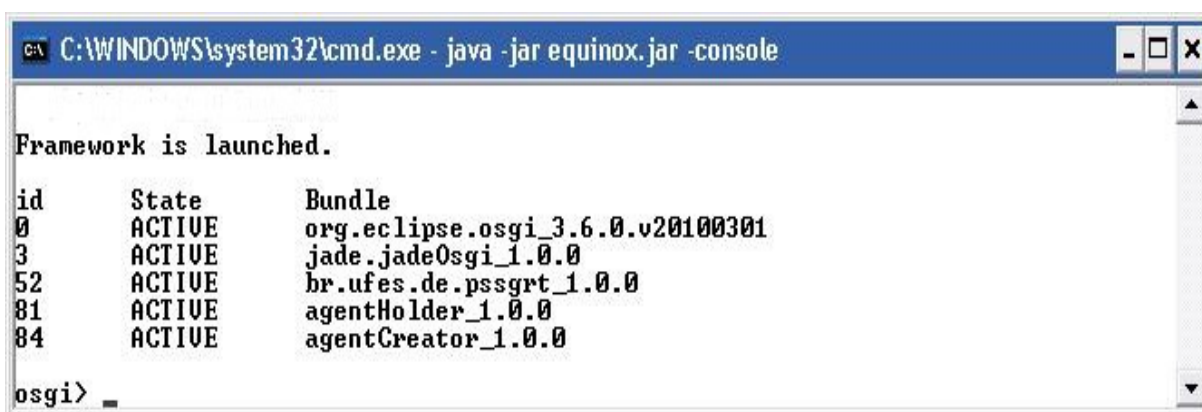
Para a validação da implementação e prova dos conceitos propostos no Capítulo 5, são explorados quatro cenários:

- dois cenários positivos, onde o agente recebeu respostas positivas sobre sua atuação e agiu conforme o resultados dos serviços solicitados;

- dois cenários negativos onde o agente recebeu alguma resposta negativa sobre suas condições iniciais de operação.

A Ontologia Central foi manualmente estendida para agregar os indivíduos que formam as duas redes utilizadas como cenários positivos. Os cenários são sucintamente descritos nas seções seguintes, juntamente com as telas de resposta exibida pelo Agente SLA. (AgSLA)

O ponto de partida do teste é a ativação dos *bundles* envolvidos na implementação experimental, conforme ilustra a Figura 43.



```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe - java -jar equinox.jar -console

Framework is launched.

id      State      Bundle
0       ACTIVE    org.eclipse.osgi_3.6.0.v20100301
3       ACTIVE    jade.jadeOsgi_1.0.0
52      ACTIVE    br.ufes.de.pssgrt_1.0.0
81      ACTIVE    agentHolder_1.0.0
84      ACTIVE    agentCreator_1.0.0

osgi> _

```

Figura 43: Ativação dos Bundles Envolvidos na Implementação Experimental

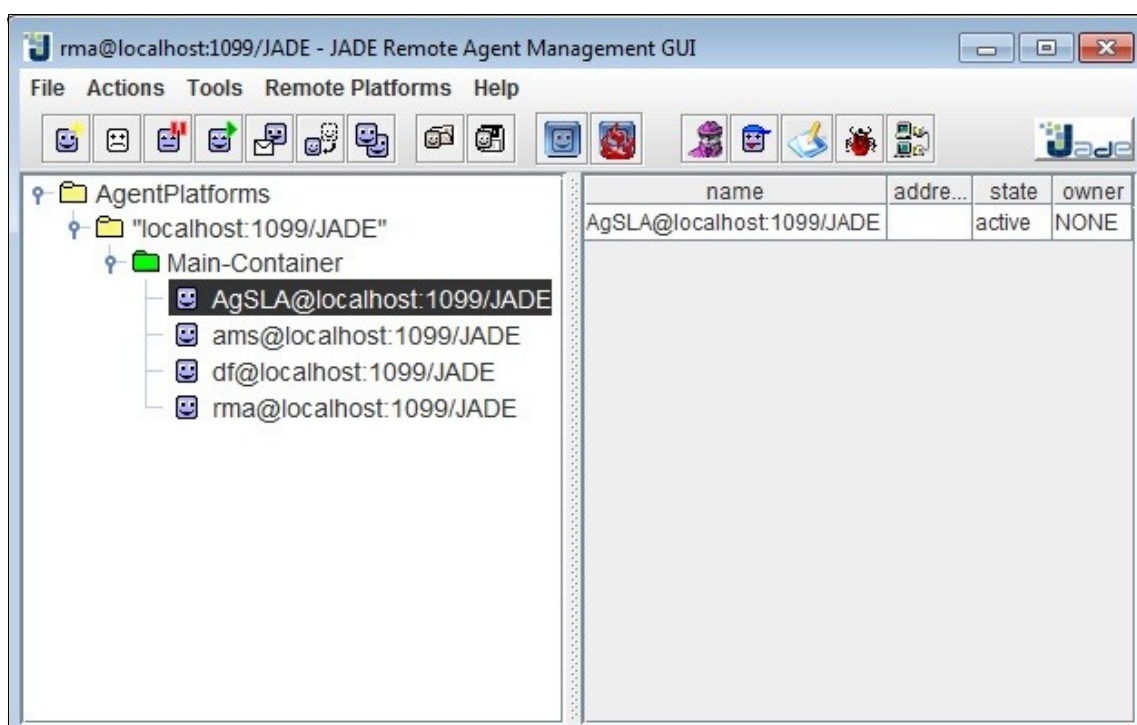


Figura 44: Verificando o Agente de SLA

Em seguida, verifica-se a criação dos agentes na plataforma JADE, através da ferramenta *JADE Remote Agent Management GUI* (JADE, 2010), como ilustra a Figura 44.

6.5.1 Cenário Positivo 1 – Gestão de SLA na Rede 1

Neste cenário o agente encontra as condições positivas para iniciar sua operação (o PSSGRT está ativo, a camada OCh está presente e não existe outro agente operando na mesma camada, com a mesma função - SLA). A Rede 1, ilustrada na Figura 45, está declarada na ontologia de suporte do PSSGRT e é consultada para a operação do agente.

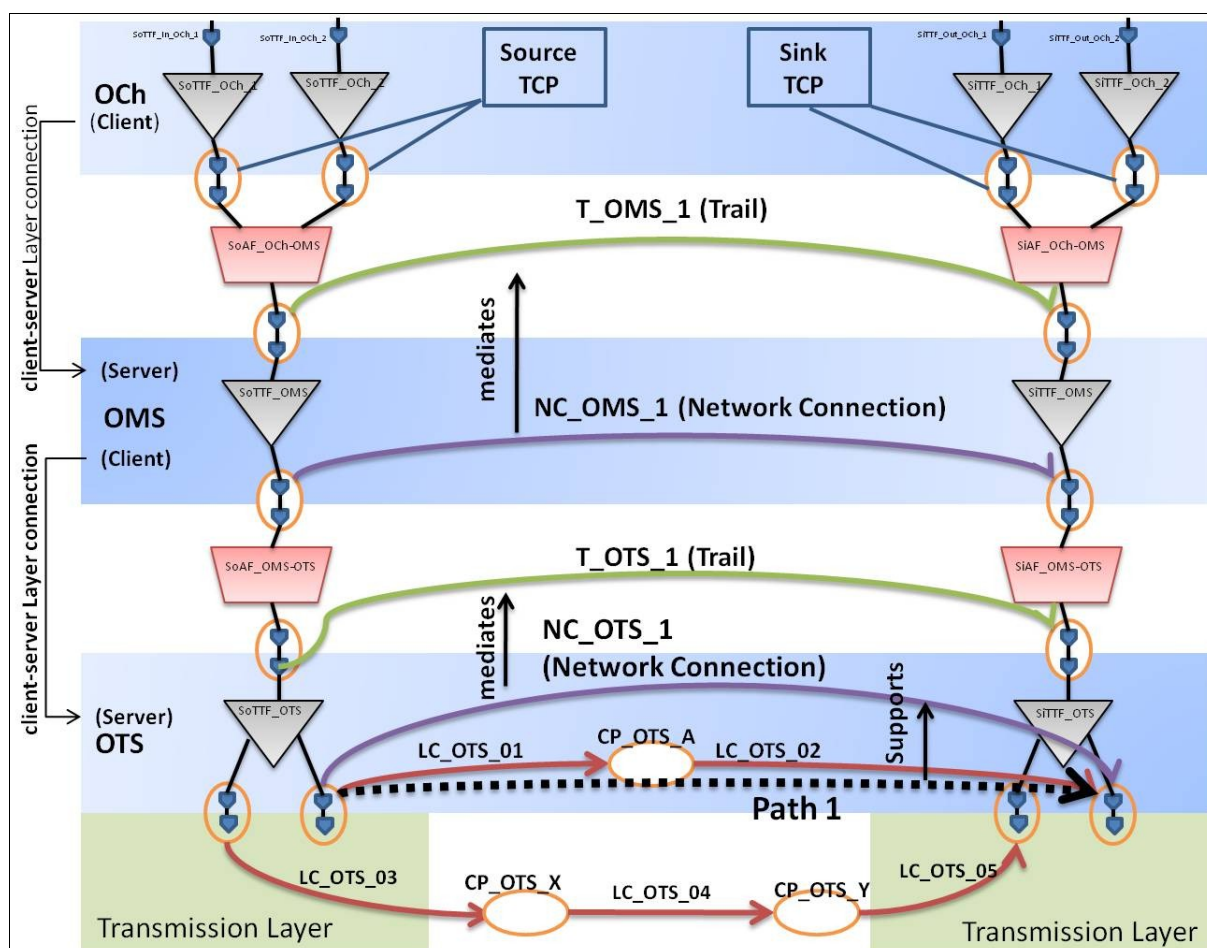


Figura 45: Configuração do Cenário Positivo - Rede 1

Observa-se na Figura 45 que o caminho *Path 1* (formado pelos elementos: LC_OTS_01, CP_OTS_A e LC_OTS_02) dá suporte (*supports*) a conexão de rede NC_OTS_1 (*Network Connection*). Embora exista outro caminho (implícito, formado pelos elementos: LC_OTS_03, CP_OTS_X, LC_OTS_04, CP_OTS_Y, LC_OTS_05), esse ainda não está provisionado, pois não existe uma conexão de rede para ele (é utilizado no Cenário Positivo 2).

As Figuras 46 a 58 mostram alguns dos passos executados pelo agente durante seu ciclo de execução.

1. localizar o PSSGRT. Caso não encontre, terminar a operação:



Figura 46: Mensagem de Localização do PSSGRT



Figura 47: Mensagem PSSGRT Encontrado

2. Recuperar as sub-redes existentes e escolher a primeira delas como alvo de sua atuação:

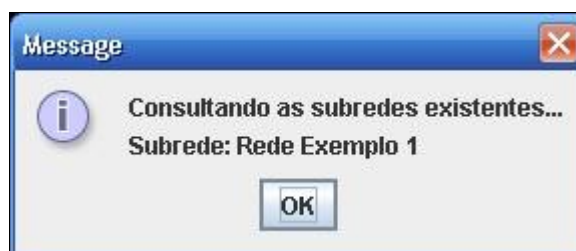


Figura 48: Mensagem de Consulta a Sub-redes disponíveis

3. Identificar Camadas Tecnológicas da rede. Caso não identifique a OCh, terminar a operação:

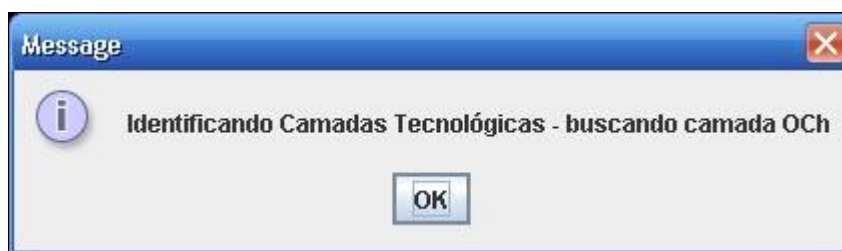


Figura 49: Mensagem de Consulta às Camadas Tecnológicas da Rede

4. Identificar outras EG3S operando na mesma camada e com a mesma função (Gestão de SLA). Caso encontre, terminar a operação:

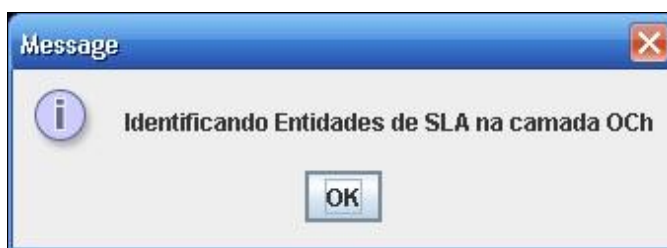


Figura 50: Mensagem Camada OCh Encontrada

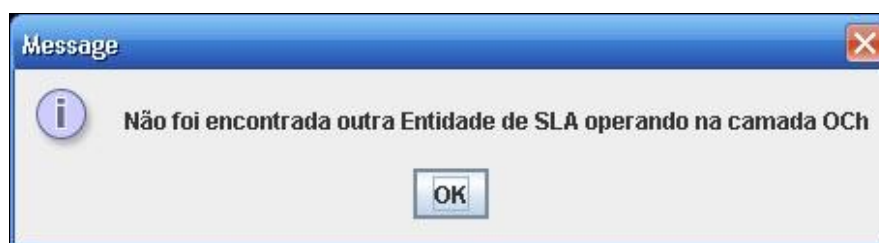


Figura 51: Mensagem Resultante da Consulta por Outras Entidades de SLA na Mesma Camada

5. Registrar-se como uma EG3S da camada OCh, com a função de Gestão de SLA:

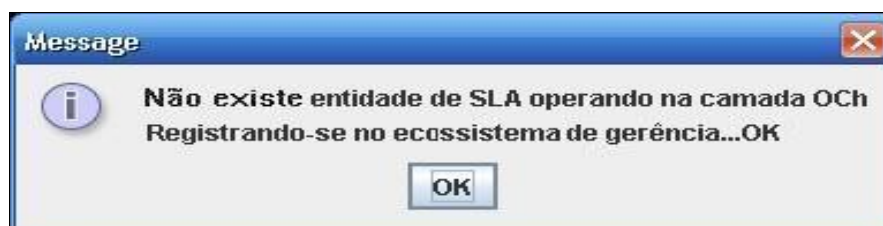


Figura 52: Mensagem de Envio do Pedido de Registro do Ecossistema

6. Recuperar os TCPs disponíveis da camada OCh da rede escolhida;

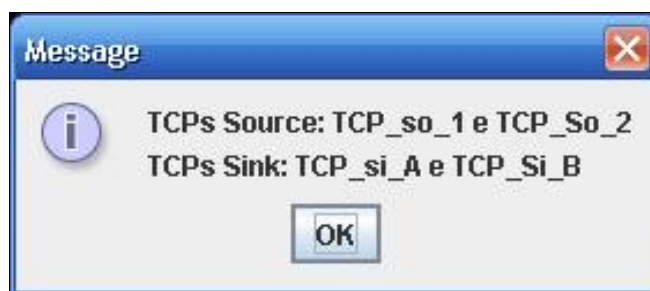


Figura 53: Mensagem que Mostra os TCPs Disponíveis na Camada OCh

7. Calcular (formatar) as Conexões de Rede que poderiam ocorrer (partindo do lado Source em direção ao lado Sink);

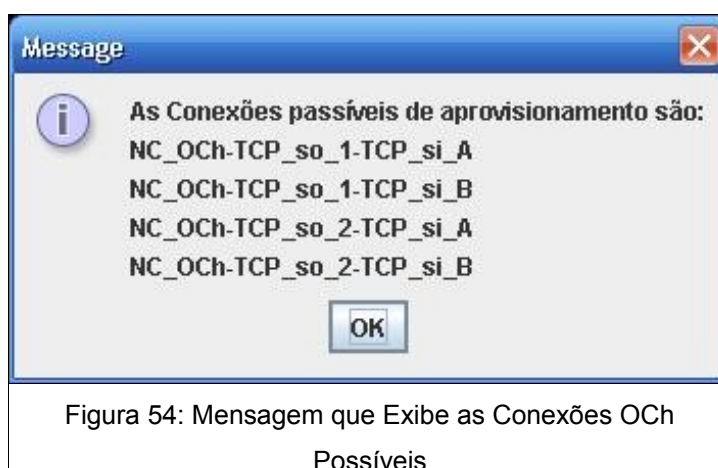


Figura 54: Mensagem que Exibe as Conexões OCh Possíveis

8. Recuperar a Conexão de Rede OTS (sabendo que é uma rede OTN G.872) de suporte;

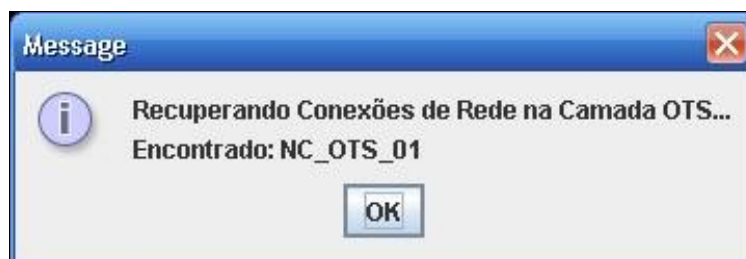


Figura 55: Mensagem de Recuperação das Conexões de Rede da Camada OTS

9. Verificar e recuperar as Conexões (Link Connection e Subnetwork Connection) parciais que compõem o caminho de suporte da Conexão de Rede OTS recuperada no passo 8:

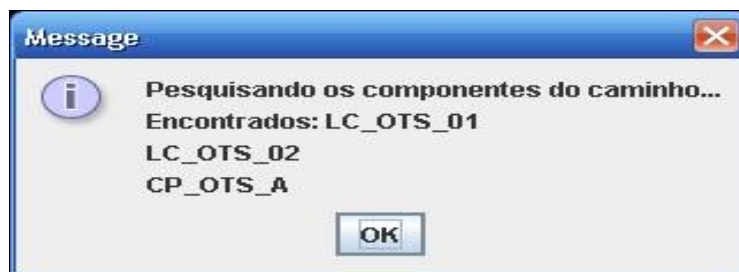


Figura 56: Mensagem que Exibe os Componentes do Caminho
(Path 1)

10. Partindo dos elementos recuperados no passo 9, recuperar os atributos de OLA de cada um deles (serviço especialmente criado para a implementação experimental):

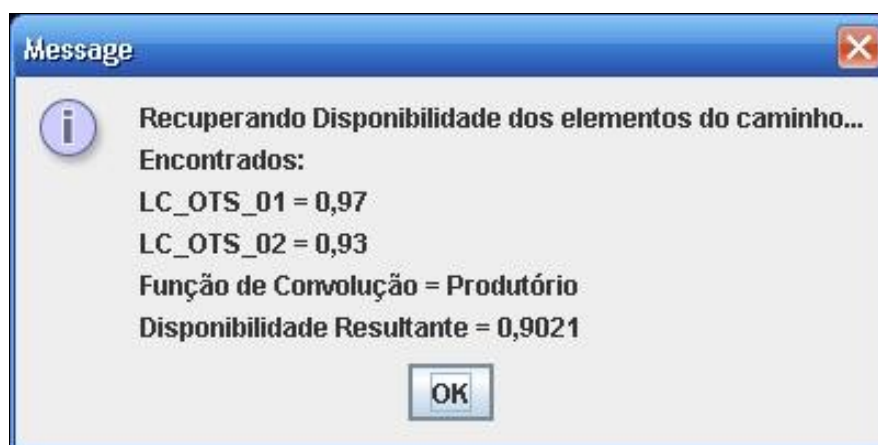


Figura 57: Mensagem que Exibe a Disponibilidade dos Componentes do Caminho (Path1)

11. Repassar os valores calculados para o parâmetro de OLA para a Conexão de Rede OMS suportada pela OTS em questão. Sugerir o SLA das Conexões de Rede OCh que foram calculadas no passo 7.

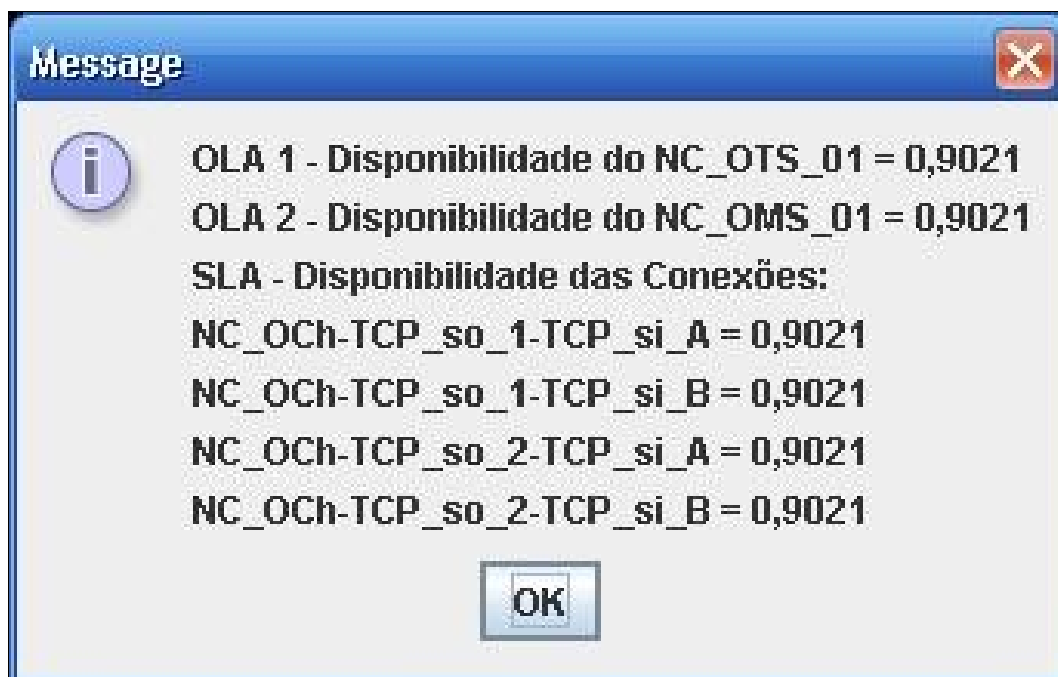


Figura 58: Mensagem que Exibe a Disponibilidade Estimada Para as Conexões OCh

6.5.2 Cenário Positivo 2 – Gestão de SLA na Rede 2

Neste cenário o agente continua encontrando as condições positivas para iniciar sua operação, mas a rede foi alterada (simulando um processo de *discovery*, onde alguma outra entidade modificou a rede). A Rede 2, ilustrada na Figura 59, é a nova configuração da rede de transporte gerenciada e passou a fazer parte da ontologia de suporte do PSSGRT.

Observa-se na Figura 59 que o caminho *Path 2* (formado pelos elementos: LC_OTTS_03, CP_OTTS_X, LC_OTTS_04, CP_OTTS_Y, LC_OTTS_05) agora dá suporte (*supports*) a conexão de rede NC_OTTS_2 (*Network Connection*). O antigo provisionamento do Cenário Positivo 1 está desfeito, não sendo mais considerado pelo Agente de SLA.

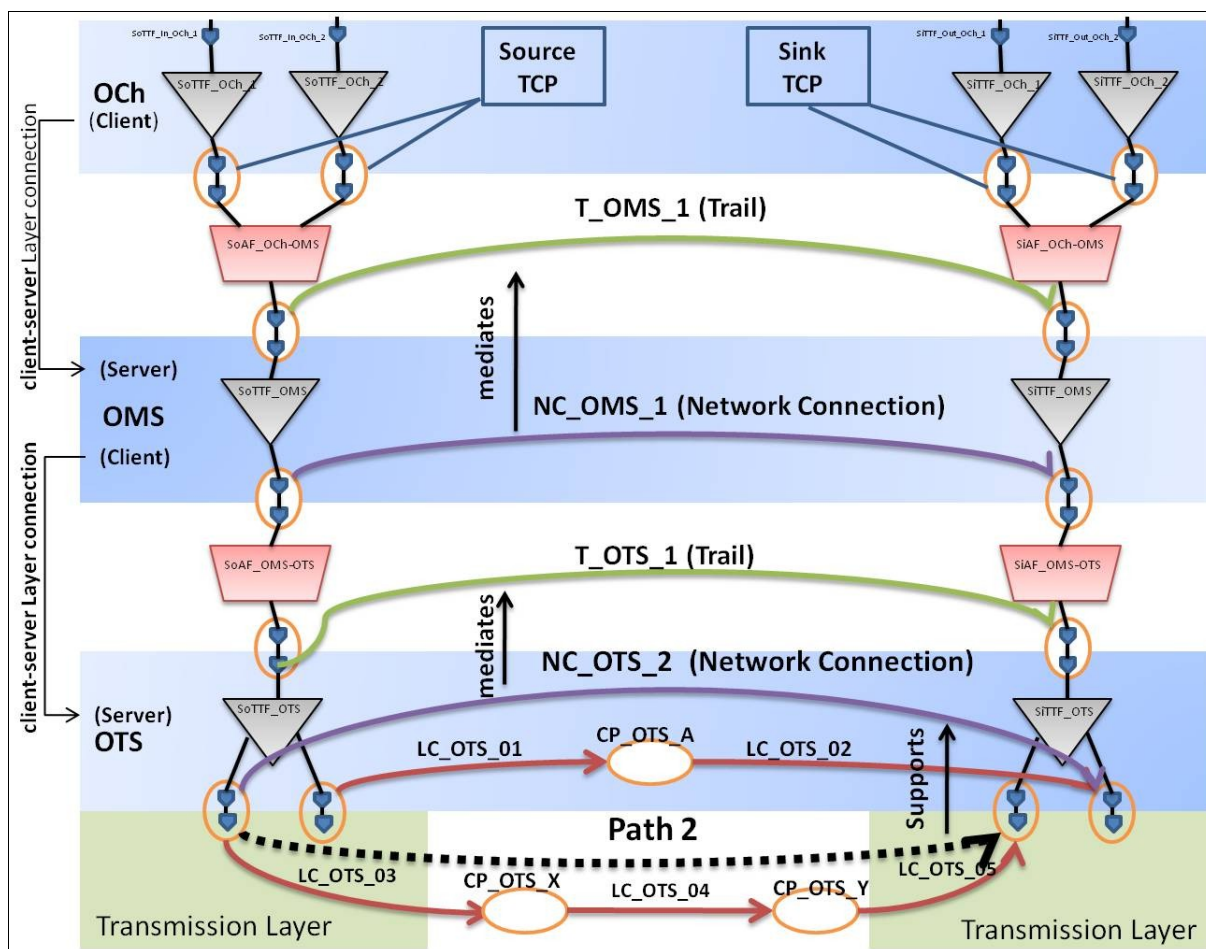


Figura 59: Nova Configuração do Cenário Positivo – Rede 2

Novamente, as Figuras 60 a 62 mostram as mensagens que diferiram com relação ao Cenário Positivo 1. São os passos 9, 10 e 11, executados pelo Agente SLA durante seu ciclo de execução para a Rede 2 (*Path 2*).

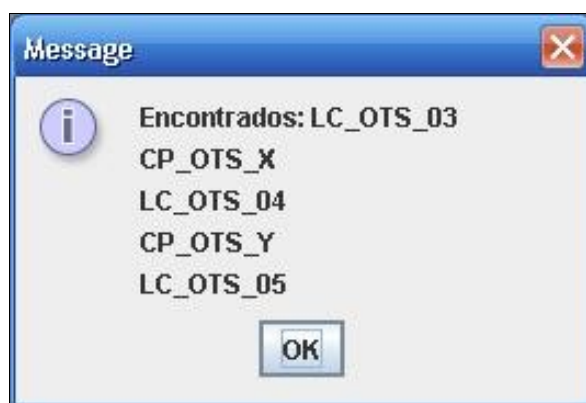


Figura 60: Mensagem com os Elementos do Caminho 2 (*Path 2*) – Passo 9

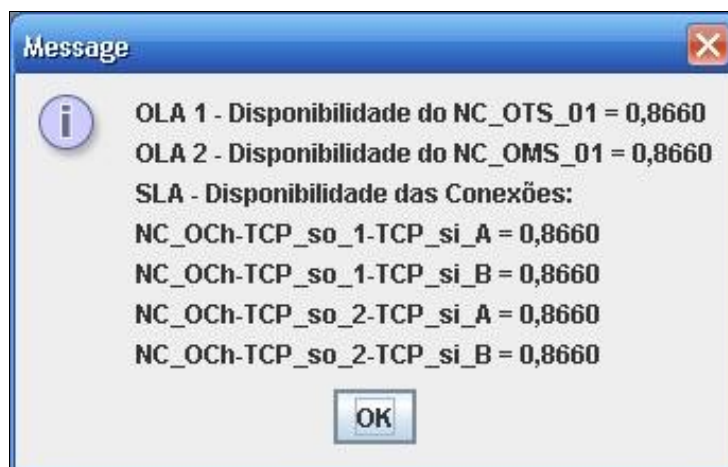


Figura 62: Mensagem Exibindo a Disponibilidade Estimada para as Conexões OCh (*Path 2*) – Passo 11

6.5.3 Cenário Negativo 1 – Outra Entidade em Operação

Neste cenário o AgenteSLA_2 encontra, através da consulta ao PSSGRT, outra entidade operando na mesma camada tecnológica e com a mesma função (Gestão de SLA). Por tanto, sua operação é interrompida, simulando uma mudança de planos. A Figura 63 mostra a mensagem que evidencia a situação.

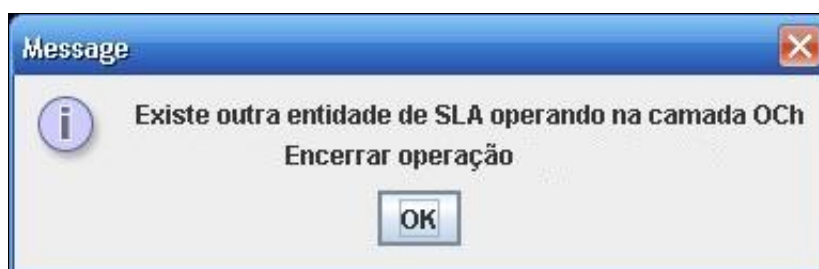


Figura 63: Mensagem que Evidencia Presença de Outra Entidade de SLA na Camada OCh

6.5.4 Cenário Negativo 2 – Camada Tecnológica Inexistente

Já neste outro cenário o AgenteSDH não encontra a Camada Tecnológica para qual está habilitado operar. Essa constatação é feita através da consulta ao PSSGRT. Novamente, sua operação é interrompida, simulando uma mudança de planos. As Figuras 64 e 65 mostram algumas telas que evidenciam essa outra situação.

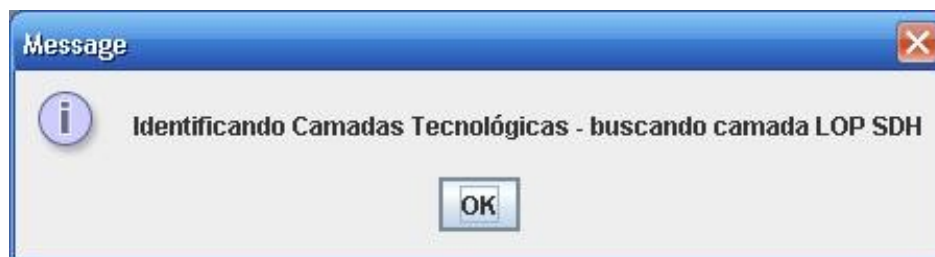


Figura 64: Mensagem do AgenteSDH que Consulta a Camada LOP (SDH)



Figura 65: Mensagem do AgenteSDH que Evidencia a Ausência da Camada Consultada

6.5.5 Algumas Limitações da Avaliação

Para esta implementação experimental o Agente de SLA não foi concebido para trabalhar em um cenário com a possibilidade de provisionamento de conexões OCh suportadas por diferentes rotas nas camadas OMS e OTS. Esse cenário exigiria a presença de elementos do tipo *Sub-network Connection*, que não são apresentados nos teste. A multiplicidade de caminhos, embora contemplada pela Ontologia Central (Redes de Transporte) pode gerar algumas ambiguidades nos critérios de escolha do Agente de SLA implementado. Isso se deve à simplicidade do código do agente e à extensão simplificada da ontologia para a aplicação de SLA. Essa extensão atende apenas aos requisitos (bastante restritos) da implementação experimental, não contemplando o apontamento de múltiplas conexões de rede inferiores associadas ao mesmo provisionamento pesquisado. Por isso, a aplicação do Agente de SLA em um cenário mais complexo demanda uma programação com mecanismos mais flexíveis e uma extensão mais adequada da ontologia computacional de suporte.

6.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

O presente capítulo descreveu o microuniverso da Gestão de SLA em Redes Ópticas de Transporte como base para a delimitação do escopo da implementação experimental da arquitetura proposta no Capítulo 5. Uma pequena extensão à Ontologia Central (Redes de Transporte) foi proposta para acomodar alguns termos e conceitos da aplicação de Gestão de SLA. Depois, foi apresentada a implementação do Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte e da Entidade de Gerência de SLA. São implementações simplificadas e não aderentes a todas as especificações feitas no Capítulo 5.

Os testes e avaliações realizados ilustram a potencial mudança de paradigma advinda da arquitetura proposta. Os cenários apresentados e os resultados obtidos mostram que o Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes de Transporte é capaz de assumir o papel para o qual foi especificado.

7 CONCLUSÃO

7.1 O RESUMO DA PROPOSTA

O presente trabalho dissertou sobre a Gerência de Redes de Telecomunicações e o paradigma do Autogerenciamento, uma de suas atuais fronteiras. Como resultado das análises da literatura clássica e das contribuições que compõem o estado da arte do Autogerenciamento, identificou-se que um dos desafios da área é interoperabilidade e reúso, especialmente no que diz respeito à integração semântica (modelos conceituais) sobre a Rede de Telecomunicações e sobre o processo da Gerência de Redes. Esses *gaps* impedem avanços na direção de alguns princípios básicos do Autogerenciamento, tais como: estabelecimento de um ecossistema de gerenciamento, conforme defendem Herrmann, Mühl e Geihs (2005).

Em resposta a essa lacuna, esta tese propõe uma arquitetura de software cujo objetivo é facilitar a criação de sistemas de Autogerenciamento, conferindo-lhes a oportunidade de estabelecer um ecossistema com características de interoperabilidade semântica sobre os conceitos referentes à rede gerenciada. Ao especificar preliminarmente o Provedor de Serviços Semânticos da Gerência de Redes, principal elemento da arquitetura, evidencia-se que um ponto chave para a contribuição pretendida é o uso de Ontologia e suas habilidades de interoperabilidade semântica, reusabilidade e inferência lógica sobre informações semânticas. A arquitetura proposta é especializada para as Redes de Transporte, universo para o qual também uma ontologia de Redes de Transporte é desenvolvida.

7.2 A CONSTRUÇÃO DA ONTOLOGIA COMPUTACIONAL DE SUPORTE

O uso da Ontologia (disciplina) se mostrou adequada para os objetivos deste trabalho. A capacidade de uniformizar o vocabulário (interoperabilidade), compartilhar os conceitos, aplicar extensões (reutilização) e proporcionar inferências

lógicas tornam essa técnica extremamente poderosa para aplicações autônomas e flexíveis.

Entretanto, a modelagem conceitual (primeira etapa do processo de construção de uma ontologia computacional) é uma tarefa bastante árdua e complexa, especialmente para o domínio escolhido (Redes de Transporte segundo a ITU-T G.805).

Recomenda-se uma enorme atenção nessa etapa, pois os resultados da implementação são diretamente afetados por essas escolhas de modelagem. Se for possível, o projetista do modelo deve estudar os fundamentos da modelagem conceitual e as Ontologias de Fundamentação (base das linguagens de descrição de modelos conceituais).

Um ponto positivo do processo de modelagem é a escolha das recomendações da ITU como base da modelagem. Ontologias construídas a partir das recomendações ITU-T têm o potencial de serem naturalmente aderentes entre si, já que esse organismo possui alguma preocupação com a coerência entre seus documentos.

7.3 A IMPLEMENTAÇÃO EXPERIMENTAL

A implementação experimental, realizada sobre o fragmento de uma aplicação de Gestão de SLA, deu indícios de que a arquitetura proposta tem o potencial de facilitar a construção de sistemas de Autogerenciamento, proporcionando a criação de um ecossistema de Autogerenciamento.

O uso da linguagem JAVA facilitou muito implementação experimental. Essa opção abriu as portas para a utilização do *middleware* OSGi, dos *frameworks* JANE 2 (manipulação e consulta de ontologias) e Pellet (motor de inferência), além da plataforma JADE para a construção de agentes no papel das Entidades de Gerência Sensíveis aos Serviços Semânticos. Essas escolhas tornaram o trabalho de desenvolvimento uma tarefa de complexidade aceitável, dentro dos padrões esperados para uma implementação experimental. Deve-se ressaltar que o escopo da implementação experimental é bastante reduzido em relação às especificações

propostas no Capítulo 5. Dessa forma, não se pode emitir uma opinião segura quanto à complexidade de uma possível Implementação de Referência (completa) da proposta. Estima-se que a implementação de todos os serviços especificados para o PSSGRT não seja uma tarefa que ofereça maior dificuldade técnica do que as enfrentadas na implementação experimental, caso seja seguido o mesmo modelo de desenvolvimento.

Não foi possível tirar conclusões sobre as vantagens do uso do *middleware* OSGi com relação a seus concorrentes, uma vez que não foram propostos cenários onde suas características operacionais (dinamismo e controle do ciclo de vida do *bundle*) estivessem presentes.

O aprendizado e a utilização da API JENA 2 e do motor de inferência Pelle foram de relativa facilidade. Ambos trazem exemplos de código e possuem uma filosofia muito direta de aplicação. O JENA 2 é melhor documentado que o Pellet, possuindo um conjunto mais amplo de tutoriais. As duas bibliotecas possuem algumas funções redundantes, criando certa confusão na escolha de qual delas utilizar para uma determinada tarefa.

A utilização do framework JADE não foi o foco principal da implementação experimental. Todavia, cabe ressaltar que sua integração com o OSGi, sua documentação e sua filosofia de funcionamento o tornam uma excelente opção para aqueles que desejam implementar as Entidades de Gerência Sensíveis aos Serviços Semânticos (especialmente se demandarem mobilidade).

O ponto mais complexo do desenvolvimento da implementação experimental foi a criação de consultas SPARQL (W3C. **SPARQL QUERY LANGUAGE FOR RDF.**, 2010) à Ontologia Central. As consultas SPARQL foram projetadas para um modelo semântico bem simplificado, construído a partir da linguagem RDF. O uso de SPARQL para modelos OWL levam a consultas muito pouco inteligíveis para os seres humanos. Felizmente, as consultas demandadas não necessitam explorar tal complexidade. Observa-se que o aumento da complexidade da Ontologia Central e do grau de autonomia dos usuários do PSSGRT devem elevar a demanda por consultas mais complexas, exigindo técnicas mais claras (para o ser humano) de recuperação de informação.

7.4 TRABALHOS FUTUROS

Existem inúmeras oportunidades de melhoria da proposta apresentada nesta tese. Também existem diversas direções em que se pode aprofundar as investigações do Autogerenciamento a partir da arquitetura proposta. As que mereceram destaque estão relacionadas abaixo.

7.4.1 Implementação de Referência e Padronização

É necessário investigar um pouco mais as tecnologias candidatas, conforme seção 5.6, e propor uma Implementação de Referência com o foco na padronização da arquitetura, tornando-a aberta e tolerante a heterogeneidade. Essas características facilitam sua adoção pela comunidade de interesse.

Outra oportunidade é discutir a possibilidade dos EG3S serem capazes de aprender a interagir com o PSSGRT em tempo de execução, minimizando a quantidade de informação prévia sobre os serviços oferecidos pela arquitetura. Essa habilidade pode ser explorada através de propostas tais como OWL-S ou SAWSDL, conforme indica a seção 6.6.2.

Uma investigação mais exploratória é avaliar a aderência da arquitetura proposta às RFCs associadas à PBNM. Um questão a ser respondida é: o servidor de políticas pode ser estendido para acomodar o papel do PSSGRT?

Pode se explorar a arquitetura proposta no sentido de torná-la uma referência para a constituição dos Planos de Gerência (inteligentes) nas redes de transporte. Este seria um desenvolvimento bastante longo, mas consistente com a proposta apresentada no Capítulo 5.

Também é necessário desenvolver os atributos de segurança, escalabilidade e controle de concorrência da arquitetura proposta. Uma linha de investigação deve colocar à prova essas habilidades, identificando técnicas e implementações mais adequadas para essas condições de operação.

7.4.2 Ontologias na Gerência de Redes

A ontologia computacional de Redes de Transporte padrão ITU-T G.805 precisa ser formalmente validada. Isso implica na aplicação de métodos que verifiquem a possibilidade do modelo semântico aceitar como consistentes proposições sabidamente inválidas.

Inúmeras extensões podem ser feitas, especialmente aquelas com grande afinidade à série G de recomendações da ITU-T. Observa-se que as recomendações ITU-T G.798, G.806, G.800 e G.803 são bastante pertinentes à proposta de serviços semânticos aqui apresentada. A Ontologia Central deve evoluir em direção às redes de comutação dinâmica, tais como as redes SDH e OTN comutada. Também é necessária uma extensão que descreva a relação entre as Entidades de Gerenciamento, possibilitando uma visão clara sobre as entidades que operam no ecossistema gerenciado.

Também é importante investigar os modelos de dados propostos pelo DMTF (CIM) e pelo TMForum (SID). Essa investigação pode criar uma extensão da ontologia no sentido de correlacionar informações semânticas com Dados Operacionais. Essa correlação tem um potencial impacto positivo na construção de aplicações de autogerenciamento, com auto grau de aderência a padrões mundialmente conhecidos e aceitos.

Uma linha de investigação mais árdua é modelar os conceitos associados às técnicas, estratégias e protocolos de gerenciamento de redes. O estudo e modelagem do PBNM seria um primeiro passo, já que algumas contribuições já foram dadas nessa direção, conforme seções 3.2.2 e 3.4.2.

7.4.3 Aplicações que Utilizem a Arquitetura Proposta

Existe um grande número de aplicações que podem tirar proveito da arquitetura proposta. Algumas delas foram mencionadas na seção 5.8. Entretanto, uma aplicação que traz ganhos para a arquitetura proposta é a Entidade de Gerência de Inventário e Processo de *Discovery*. Ela complementa o PSSGRT com a capacidade

de atualização e abrangência que ele precisa (conforme especificações preliminares).

O amadurecimento da arquitetura proposta deve vir de sua utilização em diferentes aplicações. A aplicação de planejamento de redes, descrita na seção 5.8.1, é uma excelente oportunidade de se testar os serviços semânticos especificados.

7.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Finalmente, conclui-se que a proposta apresentada nesta tese alcança as contribuições pretendidas, uma vez que os principais elementos de um ecossistema de autogerenciamento foram constatados durante a implementação experimental. Além de exercitar as questões mais relevantes para a criação de um ecossistema, a implementação experimental também demonstrou a viabilidade técnica da proposta.

O uso de Ontologias se mostrou uma abordagem determinante para as contribuições aqui alcançadas, possibilitando a criação de um modelo conceitual e de uma implementação computacional com grande potencial de interoperabilidade e reusabilidade.

Ainda existe um grande número de oportunidades de melhorias para a proposta apresentada, além de uma série de testes e futuras investigações. Entretanto os resultados obtidos até o momento apontam que a arquitetura proposta é uma alternativa para o problema originalmente investigado:

como facilitar a criação de sistemas de Autogerenciamento capazes de formar um ecossistema?

tornando-se efetivamente um facilitador na construção de sistema de Autogerenciamento de redes.

8 REFERÊNCIAS

- 1 AL-OBASIAT, Y.; BRAUN, R. **A Multi-Agent Flexible Architecture for Autonomic Services and Network Management**. International Conference on Computer Systems and Applications, 2007. AICCSA '07. IEEE/ACS Page(s): 124 – 131.
- 2 APEL, U. **Intelligent network management systems**. The X International Symposium on Subscriber Loops and Services, 1993. ISSLS 93. Proceedings. Página(s): 257 - 264
- 3 APPLEBY, S.; STEWARD, S. **Mobile software agents for control in telecommunications networks**. British Telecommunications Technology Journal, 1994. Volume:12, Número: 2, Página(s). 104-113.
- 4 BALASUBRAMANIAM, Sasitharan. et al. **A biologically inspired policy based management system for survivability in autonomic networks**. Fourth International Conference on Broadband Communications, Networks and Systems, 2007. BROADNETS 2007. Página(s): 160 – 168.
- 5 BALDI M.; GAI S.; PICCO G. P. **Exploiting Code Mobility in Decentralized and Flexible Network Management**. In: First International Workshop on Mobile Agents, 1997, Berlin. Anais. Berlin: Abril 1997.
- 6 BANKS, Jerry; CARSON, John S. Discrete-event System Simulation. New Jersey: Prentice Hall, 1984.
- 7 BARCELOS, P. P.; MONTEIRO, M. E.; SIMÕES, R. M.; SEGATTO, M. E.; GARCIA, A. S. **OOTN - An Ontology Proposal for Optical Transport Networks**. International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems (ICUMT), 2009. Página(s): 1-7.
- 8 BASILE, C.; LIOY, A.; VALLINI, M. **Towards a Network-Independent Policy Specification**. 18th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-Based Processing (PDP), 2010. Página(s): 649 – 653.

- 9 BERTHOLD, Michael R.; HAND, David J. **Intelligent Data Analysis**. 2 ed. New York: Springer, 2003. ISBN-10: 3540430601. ISBN-13: 978-3540430605.
- 10 BIESZCZAD, A.; PAGUREK, B.; WHITE, T.; **Mobile agents for network management**. IEEE Communications Surveys & Tutorials. Volume: 1, Edição: 1, Página(s): 2 – 9.
- 11 BLACK, Ulisses. Network Management Standards: SNMP, CMIP, TMN MIBs, and Object Libraries. 2. ed. New York: MacGraw-Hill, 1995
- 12 BOUTABA, Raouf; XIAO, Jin. **Network Management: State of the Art**. Proceedings of the IFIP 17th World Computer Congress - TC6 Stream on Communication Systems: The State of the Art. Vol. 220 , Página(s): 127 – 146, 2002
- 13 BRATLEY, Paul; FOX, Bennett L.; SCHRAGE, Linus E. **A Guide to Simulation**. 2 ed. New York: Spring, 1987.
- 14 BRUNNER, M. **Active networks and its management**. 1st European Conference on Universal Multiservice Networks, 2000. ECUMN 2000. Página(s): 414 – 424
- 15 BURBECK, Steve. IBM Software Group. **The Tao of e-business services: The evolution of Web applications into service-oriented components with Web services**. Disponível em: <<http://www.ibm.com/developerworks/webservices/library/ws-tao/>>. Acesso em 14 de novembro de 2010.
- 16 BURN-THORNTON, K. E.; GARIBALDI, J.; MAHDI, A.E. **Pro-active network management using data mining**. IEEE Global Telecommunications Conference, 1998. GLOBECOM 98. The Bridge to Global Integration. Volume: 2, Página(s): 1208 – 1211.
- 17 CHADHA, R. **Applications of policy-based network management**. IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium, 2004. NOMS 2004. Volume: 1, Página(s): 907 – 908.

- 18 CHANGKUN, Wang. **Policy-based network management**. International Conference on Communication Technology Proceedings, 2000. WCC - ICCT 2000. Volume: 1, Página(s): 101 – 105, 2000.
- 19 CHAPPELL, Dave. **Enterprise Service Bus**. New Jersey: O'Reilly, 2004. ISBN 0-596-00675-6.
- 20 CHEIKHROUHOU, Morsy; CONTI, Pierre; LABETOULLE, Jacques. **Flexible software agents for the automatic provision of PVCs in ATM networks** In: DAIS 99 - IFIP WG 6.1 International Working Conference on Distributed Applications and Interoperable Systems, 1999, Helsinki. **Anais...** Helsinki: 1999.
- 21 CHIH-LIN H; CHEN, W. -S. E. **A mobile agent-based active network architecture**. Seventh International Conference on Parallel and Distributed Systems, 2000. Proceedings. Página(s): 445 - 452
- 22 CLANCY, W. J. **The Knowledge Level Reinterpreted: Modelling Socio-Technical Systems**. International Journal of Intelligent Systems, 1993. Volume: 8, Página(s): 33-49.
- 23 CLARK & PERSIA. **Pellet**. Disponível em: <<http://clarkparsia.com/pellet/>>. Acesso em: 14 de junho de 2010.
- 24 COVACI, S.; TIANNING Zhang; BUSSE, I. **Java-based intelligent mobile agents for open system management**. Ninth IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence, 1997. Anais, Página(s): 492 – 501.
- 25 DAVY, S.; JENNINGS, B.; STRASSNER, J. **On harnessing information models and ontologies for policy conflict analysis**. IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management, 2009. IM '09. Página(s): 821 – 826
- 26 _____; _____; _____. **Efficient Policy Conflict Analysis for Autonomic Network Management**. Fifth IEEE Workshop on Engineering of Autonomic and Autonomous Systems, 2008. EASE 2008. Página(s): 16 - 24

- 27 DE PAOLA, A. et al. **Rule based reasoning for network management**. Seventh International Workshop on Computer Architecture for Machine Perception, 2005. (CAMP 2005). Anais, Página(s): 25 – 30.
- 28 DI CARO, G.; DORIGO, M. **AntNet: Distributed Stigmergetic Control for Communications Networks**. Journal of Artificial Intelligence Research - JAIR – 1998. Volume: 9, Página(s) 317-365. ISSN 1076 – 9757.
- 29 DMTF. Distributed Management Task Force. **Common Information Model (CIM) Standards**. Disponível em: <<http://www.dmtf.org/standards/cim/>>. Acesso em 15 de junho 2010.
- 30 _____. **Web-Based Enterprise Management (WBEM)**. Disponível em: <<http://www.dmtf.org/standards/wbem/>>. Acesso em 15 de junho 2010.
- 31 DOS SANTOS, Bruno Campelo Lopes; GARCIA, Anilton Salles. **Uma Proposta de um Modelo de Ontologia para Gerência de Configuração de Redes**. Second Workshop on Ontologies and Metamodeling in Software and Data Engineering, 2007. Anais do XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE SOFTWARE, 2007. João Pessoa, Paraíba, 15 de outubro de 2007.
- 32 ELER, Esdras de Oliveira. **Aplicação ao Gerenciamento de Redes de Telecomunicações**. Teleco Inteligência em Telecomunicações. Tutoriais - Operação e Gestão. Publicado em 21/1/2008. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialmodelotmn/Default.asp>>. Acesso em 16 de junho 2010.
- 33 FALBO, R.A., **Experiences in Using a Method for Building Domain Ontologies**. Sixteenth International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE'2004). International Workshop on Ontology In Action, (OIA'2004), Banff, Alberta, Canada: Junho 2004.. Anais, Página(s). 474-477.
- 34 FALBO, R.A.; MENEZES,C.S.; ROCHA, A.R. **A Systematic Approach for Building Ontologies**. Progress in Artificial Intelligence - IBERAMIA'98 6th Ibero-American Conference on AI. Coelho, H (Org.). LNCS 1484 (Lecture

- Notes in Artificial Intelligence), pp. 349-360, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Lisbon, Portugal, October 1998.
- 35 FEIT, Sidnie. **SNMP: A Guide to Network Management**. New York: MacGraw-Hill, 1995
- 36 FERNANDES, R.; et al. **Applying semantic technologies for Enterprise Application Integration**. Anais do International Symposium on Collaborative Technologies and Systems (CTS), 2010. Página(s): 416 – 422.
- 37 FIPA. Foundation for Intelligent Physical Agents. Disponível em: <<http://www.fipa.org>>. Acesso em: 19 de Maio de 2010.
- 38 GAGLIO, S. et al. **A dynamic reasoning architecture for computer network management**. 16th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence, 2004. (ICTAI 2004). Anais, Página(s): 779 – 781.
- 39 GAŠEVIĆ, Dragan; DJURIĆ, Dragan; DEVEDŽIĆ, Vladan. **Model Driven Architecture and Ontology Development**. 1a. ed. Springer-Verlang, Berlin: 2006.
- 40 GNU. **Prolog**. Disponível em: <<http://www.gprolog.org/>>. Acesso em 21 de novembro de 2010.
- 41 GOGINENI, H. et al. **MMS: An autonomic network-layer foundation for network management**. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Volume: 28 , Issue: 1, Página(s): 15 – 27.
- 42 GOLDSZMIDT, G.; YEMINI, Y. **Distributed management by delegation**. 15th International Conference on Distributed Computing Systems, 1995., Anais, Página(s): 333 – 340.
- 43 GOLDSZMIDT, G.; YEMINI, Y.; YEMINI, S. **Network Management by Delegation**. In: IBM/CAS Conference, Toronto, 1991. Anais. Toronto: IBM, 1991.

- 44 GRUBER, Thomas. R. **A Translation Approach to Portable Ontology Specification**. Knowledge Acquisition Journal - Elsevier Ltd, 1993. Volume. 5, Edição: 2, Página(s): 199-220.
- 45 GUARINO, N. **Formal Ontology and Information Systems**. Formal Ontology in Information Systems. International Conference on Formal Ontology and Information Systems (FOIS) 1998. Trento, Italy, 6-8 Junho. IOS Press : Amsterdam 1998. Anais, Página(s) 3-15.
- 46 _____. **Formal Ontology, Conceptual Analysis and Knowledge Representation**. International Journal of Human and Computer Studies 1995. Edição: 43(5/6), Página(s). 625-640.
- 47 _____. **The Ontological Level**. In: CASATI, R.; SMITH, B.; WHITE, G. (Org.). Philosophy and the Cognitive Science. Holder-Pivhler-Tempsky, Vienna: 1994. Página(s). 443-456.
- 48 _____. **Understanding, Building, and Using Ontologies: A Commentary to "Using Explicit Ontologies in KBS Development**. Organizadores van Heijst, Schreiber, and Wielinga. International Journal of Human and Computer Studies, 1997. Edição: 46, Página(s) 293-310.
- 49 GUIZZARDI, G. **On Ontology, ontologies, Conceptualizations, Modeling Languages, and (Meta)Models**. Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, Databases and Information Systems IV, Olegas Vasilecas, Johan Edler, Albertas Caplinskas (Editores). Amsterdam: IOS Press, 2007. ISBN 978-1-58603-640-8.
- 50 _____. **Ontological Foundations for Structural Conceptual Models**. PhD Thesis (CUM LAUDE), University of Twente, The Netherlands. Published as the same name book in Telematica Instituut Fundamental Research Series No. 15. ISBN 90-75176-81-3 ISSN 1388-1795. CTIT PhD-thesis, ISSN 1381-3617; No. 05-74. Holanda, 2005.
- 51 GUIZZARDI, G.; WAGNER, G. **Some Applications of a Unified Foundational Ontology in Business Modeling**. Ontologies and Business

- Systems Analysis, Michael Rosemann and Peter Green (Eds.). IDEA Publisher, 2005.
- 52 HERRMANN, K.; MUHL, G.; GEIHS, K. **Self management: the solution to complexity or just another problem?** IEEE Distributed Systems Online, Volume: 6, Edição: 1, Janeiro 2005.
- 53 HIBERNATE. Relational Persistence for Java & .NET. Jboss Community. Disponível em: <<http://www.hibernate.org/>>. Acesso em: 14 de junho de 2010.
- 54 HITZLER, Pascal; et al. **OWL 2 Web Ontology Language Primer**. W3C Recommendation 27 October 2009.. Disponível em <<http://www.w3.org/TR/2009/REC-owl2-primer-20091027/>>. Acesso em: 10 de junho 2010.
- 55 HOCHSTATTER, I. et al. **An architecture for context-driven self-management of services**. IEEE INFOCOM Workshops 2008, Anais, Página(s): 1 - 4
- 56 IBM. **SOA**. Disponível em: <<http://www-01.ibm.com/software/solutions/soa/>>. Acesso em: 14 de junho de 2010.
- 57 IETF. Internet Engineering Task Force. **RFC2748**. The COPS (Common Open Policy Service) Protocol. Disponível em: <<http://www.faqs.org/rfcs/rfc2748.html>>. Acessado em 19 de Maio de 2010
- 58 _____. **RFC2753. A Framework for Policy-based Admission Control**. Disponível em: <<http://www.faqs.org/rfcs/rfc2753.html>>. Acessado em 19 de Maio de 2010
- 59 ISAAC, Antoine; SUMMERS, Ed. **SKOS Simple Knowledge Organization System Primer**. W3C Working Group Note 18 August 2009. Disponível em <<http://www.w3.org/TR/2009/NOTE-skos-primer-20090818/>>. Acesso em: 10 de junho 2010.
- 60 ITU. International Telecommunication Union. **ITU-T G.805. Generic functional architecture of transport networks**. SERIES G:

TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS: Digital networks – General aspects. Disponível em: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.805-200003-I>>. Acesso em: 16 de junho 2010.

61 _____.. **ITU-T M.3000. Overview of TMN Recommendations.** SERIES M: TMN AND NETWORK MAINTENANCE: INTERNATIONAL TRANSMISSION SYSTEMS, TELEPHONE CIRCUITS, TELEGRAPHY, FACSIMILE AND LEASED CIRCUITS. Telecommunications management network. Disponível em: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-M.3000-200002-I>>. Acesso em 16 de junho de 2010.

62 _____.. **ITU-T M.3200. TMN management services and telecommunications managed areas: overview.** SERIES M: TMN AND NETWORK MAINTENANCE: INTERNATIONAL TRANSMISSION SYSTEMS, TELEPHONE CIRCUITS, TELEGRAPHY, FACSIMILE AND LEASED CIRCUITS. Telecommunications management network. Disponível em: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-M.3200-199704-I>>. Acesso em 16 de junho de 2010.

63 _____.. **ITU-T M.3400. TMN management functions.** SERIES M: TMN AND NETWORK MAINTENANCE: INTERNATIONAL TRANSMISSION SYSTEMS, TELEPHONE CIRCUITS, TELEGRAPHY, FACSIMILE AND LEASED CIRCUITS. Telecommunications management network.. Disponível em: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-M.3400-200002-I/en>>. Acesso em: 16 de junho 2010.

64 _____.. **ITU-T. E.800. Definitions of terms related to quality of service.** SERIES E: OVERALL NETWORK OPERATION, TELEPHONE SERVICE, SERVICE OPERATION AND HUMAN FACTORS. Quality of telecommunication services: concepts, models, objectives and dependability planning – Terms and definitions related to the quality of telecommunication services. Disponível em: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-E.800-200809-I>>. Acesso em 16 de junho de 2010.

- 65 _____ . **ITU-T. G.872. Architecture of optical transport networks.** SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS: Digital transmission systems – Digital networks – Optical transport networks. Disponível em: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.872-200111-I>>. Acesso em: 16 de junho 2010.
- 66 IZZA, S.; VINCENT, L., BURLAT, P. **Ontology-Based Approach for Application Integration.** First International Conference on Interoperability of Enterprise Software and Applications. Anais Interop-ESA 05. Genebra, Suíça, Fevereiro de 2005.
- 67 JADE. **Java Agent DEvelopment Framework.** Disponível em: <<http://jade.tilab.com/>>. Acesso em 14 de junho de 2010.
- 68 JBOSS. **JBossESB.** Disponível em: <<https://labs.jboss.com/jbossesb>>. Acesso em: 14 de junho de 2010.
- 69 JENNINGS, et al. **Challenges for federated, autonomic network management in the Future Internet.** IFIP/IEEE - International Symposium on Integrated Network Management-Workshops, 2009. (IM '09). Anais, Página(s): 87 – 92.
- 70 JINI.ORG. **The Community Resoucer for Jini Technology.** Disponível em <http://www.jini.org/wiki/Main_Page>. Acesso em: 16 de junho de 2010.
- 71 JOSEPH, C.; SHERZER, A.; MURALIDHAR, K. **Fault management for MAP networks.** In: International Conference on Computer Integrated Manufacturing, 2., 1990, Troy. Anais... Troy: IEEE, 1990. p. 170 – 177
- 72 KAON2. Disponível em <<http://kaon2.semanticweb.org/>>. Acessado em: 14 de junho 2010.
- 73 KIFER, Michael; LAUSEN, Georg; WU, James. **Logical Foundations of Object-Oriented and Frame-Based Languages.** Journal of ACM. Disponível em: <<http://www.cs.umbc.edu/courses/771/papers/flogic.pdf>>. Acesso em 21 de novembro de 2010.

- 74 KOCH T., KRAMER B., ROHDE G., **On a Rule Based Management Architecture**, The 2ed International Workshop on Services in Distributed and Networked Environments, IEEE Computer Society, Whistler, Canada, 1995.
- 75 KULKARNI, P. G. et al. **Deploying MIB Data Mining for Proactive Network Management**. 3rd International IEEE Conference on Intelligent Systems, 2006. Anais, Página(s): 506 – 511.
- 76 KUROPKA, et al. (Editores). **Semantic Service Provisioning**. Berlin: Springer-Verlang, 2008. ISBN: 978-3-540-78616-0
- 77 LIU, Jiming, TSUI, K. C.; WU, J. **Introducing Autonomy-Oriented Computation (AOC)**. Proceedings of the 1st International Workshop on Autonomy-Oriented Computation (AOC-01), Montreal, Maio de 2001, Página(s). 1-11.
- 78 MANOLA, Frank; MILLER, Eric. **RDF Primer**. W3C Recommendation 10 February 2004. Disponível em <<http://www.w3.org/TR/2004/REC-rdf-primer-20040210/>>. Acesso em: 10 de junho 2010.
- 79 MANSFIELD, G.; et al. **Network management in a large-scale OSI-based campus network using SNMP**. IEEE International Conference on Communications, 1992. ICC '92, Anais do SUPERCOMM/ICC '92 - Discovering a New World of Communications. Volume: 1, Página(s): 179 – 185.
- 80 MARZO, J. L.; et al. **Automatic self-configuration of the logical network using distributed software agents**. IEEE Global Telecommunications Conference, 2004. GLOBECOM '04. Volume: 4, Página(s): 2103 – 2107.
- 81 MICROSOFT. **COM: Component Object Model – What is COM?** Disponível em: <<http://www.microsoft.com/com/default.aspx>>. Acessado em: 18 de Maio de 2010.
- 82 MOFFETT J., SLOMAN M., **Policy Hierarchies for Distributed Systems Management**, IEEE Journal on Selected Areas in Communication, Vol. 11, No. 9, Dezembro, 1993.

- 83 MONTEIRO, M. E., GARCIA, A. S., BARCELOS, P. P., & GUIZZARDI, G. **Ontology Based Model For The ITU-T Recommendation G.805**: Towards The Self-management Of Transport Networks. International journal of computer science & information Technology (IJCSIT), 2010. Volume 2 (Número 2), Página(s):155-170.
- 84 MOURA, Ralf Luis; GARCIA, Anilton Salles. **Network Management Architecture Based on Changeable Mobile Agents**. International Workshop on Telecommunications (IWT 2007). Anais; Página(s): 282-287. Brasil, Santa Rita do Sapucaí-MG, 2007.
- 85 NARDI, D. et. al. **The Description Logic Handbook**: Theory, Implementation and Applications. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. ISBN: 9780521781763.
- 86 NARGESIAN, F.; NAZEMI, E.; An Agent - Based Architecture with Centralized Management for a Distance Learning System. International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications, 2007. Anais, Volume: 1, Página(s): 68 – 76.
- 87 NDOUSSE, T. D. **Distributed fuzzy agents: a framework for intelligent network monitoring**. IEEE International Conference on Communications, 1997. ICC 97 Montreal, 'Towards the Knowledge Millennium'. 1997. Volume: 2, Página(s): 867 – 871.
- 88 NOBRE, J. C.; GRANVILLE, L. Z. **Towards Consistency of Policy States in Decentralized Autonomic Network Management**. IEEE International Symposium on Policies for Distributed Systems and Networks, 2009. POLICY 2009. Página(s): 170 – 173.
- 89 NWANA, Hyacinth S. **Software Agents**: An Overview. Knowledge Engineering Review, Volume. 11, No 3, Página(s).1-40. Cambridge University Press, Setembro 1996
- 90 OGC. ITIL. **What is ITIL?** Disponível em: <<http://www.itil-officialsite.com/AboutITIL/WhatIsITIL.asp>>. Acessado em: 18 de Maio de 2010.

- 91 OMG. CORBA. **History of CORBA®.** Disponível em: <http://www.omg.org/gettingstarted/history_of_corba.htm>. Acessado em: 18 de Maio de 2010.
- 92 OSGI ALLIANCE. **OSGI - The Dynamic Module System for Java.** Disponível em: <<http://www.osgi.org/Main/HomePage>>. Acesso em: 14 de junho de 2010.
- 93 OWLAPI. **The OWL API.** Disponível em: <<http://owlapi.sourceforge.net/>>. Acesso em 20 de junho de 2010.
- 94 PAPAVASSILIOU, S. et al. **Integration of mobile agents and genetic algorithms for efficient dynamic network resource allocation.** Sixth IEEE Symposium on Computers and Communications, 2001. Anais, Página(s): 456 – 463.
- 95 POST, M.; CHIEN-CHUNG Shen; WEI, J. **The manager/agency paradigm for distributed network management.** IEEE Network Operations and Management Symposium, 1996. Volume: 1, Página(s): 44 – 53.
- 96 PUGAZENDI, R.; DURAISWAMY, K. **Mobile Agents - A Solution for Network Monitoring.** International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing, 2009. ARTCom '09. Página(s): 579 – 584.
- 97 REZENDE, Solange O (Org.). **Sistemas Inteligentes: Fundamentos e Aplicações.** Baruerí: Manole, 2003.
- 98 RUSSELL, Stuart; NORVING, Peter. **Inteligência Artificial.** Tradução de Vandenberg D. de Souza. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
- 99 SAADAWI, Tarek N.; AMMAR, Mostafa H. **Fundamentals of Telecommunication Networks.** 1 ed. New Jersey: Wiley-Interscience, 1994. ISBN-10: 0471515825. ISBN-13: 978-0471515821
- 100 SAMAAN, N.; KARMOUCH, A. **Towards Autonomic Network Management: an Analysis of Current and Future Research Directions.**

- IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2009. Volume: 11 , Edição: 3, Página(s): 22 – 36.
- 101 SERRANO, J. M.; SERRAT, J.; STRASSNER, J. **Ontology-Based Reasoning for Supporting Context-Aware Services on Autonomic Networks**. IEEE International Conference on Communications, 2007. (ICC '07). Anais, Página(s): 2097 – 2102.
- 102 SERRANO, J. M. et al. **Facilitating Autonomic Management for Service Provisioning using Ontology-Based Functions & Semantic Control**. IEEE Network Operations and Management Symposium Workshops, 2008. (NOMS Workshops 2008). Anais, Página(s): 77 – 86.
- 103 SERRANO, M.; STRASSNER, J.; FOGHLU, M. O. **A formal approach for the inference plane supporting integrated management tasks in the Future Internet**. IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management-Workshops, 2009. (IM '09). Anais, Página(s): 120 – 127.
- 104 SOARES, Luiz F. G.; LEMOS, Guido; COLCHER, Sérgio. **Redes de Computadores: das LAN's, MAN's e WAN's às redes ATM**. 2. ed. ver. e ampliada. Rio de Janeiro: Campus, 1997.
- 105 SREEDHAR, R.; HILL, T. D.; STANLEY, G. M. **Intelligent fault management for large networks**. IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium, 2000. NOMS 2000. Página(s): 959 - 960
- 106 STALLINGS, William. **SNMPv1, SNMPv2, SNMPv3 e RMON 1 e 2**. 3. ed. Massachusetts: Addison Wesley, 1999
- 107 STANFORD. **PROTEGE 2000**. Disponível em: <<http://protege.stanford.edu/overview/>>. Acesso em: 14 de junho de 2010.
- 108 STRASSNER, J. **Context-Aware, Policy-Based Seamless Mobility Using the FOCAL Autonomic Architecture**. Tenth International Conference on Mobile Data Management: Systems, Services and Middleware, 2009. MDM '09. Pághina(s): 568 – 573.

- 109 _____. **How policy empowers business-driven device management.** Third International Workshop on Policies for Distributed Systems and Networks, 2002. Proceedings, Página(s): 214 – 217.
- 110 STRASSNER, J. et al. **Towards a Unified Policy Language for Future Communication Networks: A Process.** 3rd IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks - DySPAN 2008. Página(s): 1 - 10
- 111 STRASSNER, J.; RAYMER, D. **Implementing Next Generation Services Using Policy-Based Management and Autonomic Computing Principles.** 10th IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium, 2006. NOMS 2006. Página(s): 1 – 15.
- 112 SUN. **Java EE Reference at a Glance.** Disponível em: <http://java.sun.com/javaee/reference/>. Acessado em: 18 de Maio de 2010.
- 113 _____. **Java Management Extensions (JMX) Technology.** Disponível em: <http://java.sun.com/javase/technologies/core/mntr-mgmt/javamanagement/>. Acessado em: 18 de Maio de 2010.
- 114 _____. **Java Remote Method Invokation.** Disponível em: <http://java.sun.com/docs/books/tutorial/rmi/index.html>. Acessado em: 18 de Maio de 2010.
- 115 TANENBAUM, A. S; STEEN, M. V. **Sistemas Distribuídos: Princípios e Paradigmas.** 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007
- 116 TANENBAUM, A. S. **Computer Networks.** 3 ed. New Jersey: Prentice Hall PTR, 1994.
- 117 TENNENHOUSE, D. L. et al. **A survey of active network research.** Communications Magazine, IEEE Volume: 35 , Issue: 1 - 1997 , Página(s): 80 - 86
- 118 TENNENHOUSE, D. L.; WETHERALL, D. J.; **Towards an active network architecture.** DARPA Active NETworks Conference and Exposition, 2002. Proceedings: 2002 , Página(s): 2 - 15

- 119 TIANFIELD, H. **Multi-agent based autonomic architecture for network management**. IEEE International Conference on Industrial Informatics, 2003. INDIN 2003. Anais, Página(s): 462 - 469
- 120 TMFORUM. TELECOMUNICATION MANAGEMENT FORUM. **eTOM**. Disponível em: <<http://www.tmforum.org/IntegrationFramework/6637/home.html>>. Acesso em 16 de junho de 2010.
- 121 _____.. **MTNM**. Disponível em: <<http://www.tmforum.org/BestPracticesStandards/mTOPMTNM/1689/Home.html>>. Acesso em 16 de junho de 2010.
- 122 _____. _____. **OSS/J**. Disponível em <<http://www.tmforum.org/OSSJ/2896/home.htm>>. Acesso em: 16 de junho de 2010.
- 123 _____. _____. **Information Framework (SID)**. Disponível em: <<http://www.tmforum.org/BestPracticesStandards/InformationFramework/1684/Home.html>>. Acesso em 16 de junho de 2010.
- 124 _____. _____. **NGOSS**. Disponível em: <<http://www.tmforum.org/BestPracticesStandards/SolutionFrameworks/8428/Home.html>>. Acesso em 16 de junho de 2010.
- 125 TURNER, Kenneth J. **Specification architecture illustrated in a communications context**. Computer Networks and ISDN Systems. Volume 29. Edição 4. Elsevier Science B.V., Março 1997. Página(s) 397-411
- 126 UNIVERSITY VAN AMSTERDAM. Faculty of Science. NDL. **Network Description Language**. Disponível em: <<http://www.science.uva.nl/research/sne/ndl>>. Acesso em 16 de junho de 2010.
- 127 USZOK, A. et al. **New Developments in Ontology-Based Policy Management: Increasing the Practicality and Comprehensiveness of**

- KaoS**. IEEE Workshop on Policies for Distributed Systems and Networks, 2008. (POLICY 2008). Anais, Página(s): 145 – 152.
- 128 VAN DER HAM, J. et al. **Using the Network Description Language in Optical Networks**. 10th IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management, 2007. IM '07. Anais, Página(s): 199 – 205.
- 129 VILLAGRA, V. A. et al. **Ontologies: giving semantics to network management models**. IEEE Network 2003. Volume: 17, Edição: 3, Página(s): 15 – 21.
- 130 VERGARA, J. E. Lopes de. et al. **Semantic Management: Application of Ontologies for the Integration of Management Information Models**. Eighth IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management, Colorado Springs, Colorado, U.S.A. 24-28 Março 2003. Anais, Página(s): 131-134.
- 131 W3C. World Wide Web Consortium. **OWL-S: Semantic Markup for Web Services**. W3C Member Submission 22 November 2004. Disponível em: <<http://www.w3.org/Submission/OWL-S/>>. Acesso em 14 de junho de 2010.
- 132 _____. **Semantic Web Service Interest Group**. Disponível em: <<http://www.w3.org/2002/ws/swsig/>>. Acesso em 21 de novembro de 2010.
- 133 _____. **Semantic Web**. Disponível em: <<http://www.w3.org/standards/semanticweb/>>. Acesso em 14 de junho de 2010.
- 134 _____. **SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML**. W3C Member Submission 21 May 2004. Disponível em: <<http://www.w3.org/Submission/SWRL/>>. Acesso em 14 de junho de 2010.
- 135 _____. **Web of Services**. Disponível em: <<http://www.w3.org/standards/webofservices/>>. Acesso em 14 de junho de 2010.
- 136 _____. **XML Essentials**. Disponível em: <<http://www.w3.org/standards/xml/core>>. Acesso em 14 de junho de 2010.

- 137 _____ . **SPARQL Query Language for RDF**. W3C Recommendation 15 January 2008. Eric Prud'hommeaux e Andy Seaborne (Org.). Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>>. Acesso em: 14 de junho de 2010.
- 138 WANG, Zhaogang; ZHANG, Bin ; LI, Guohui. **A Topological Constraints Based Sequential Data Mining Approach on Telecom Networks Alarm**. International Joint Conference on Data. Computational Sciences and Optimization, 2009 (CSO 2009). Anais, Volume: 1, Página(s): 750 – 754.
- 139 WARREN, G.; NOLTE, R.; FUNK, K.; MERRELL, B. **Network Simulation Enhancing Network Management in Real-Time**. ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation. Volume: 14, Número. 2, Página(s): 196-210, Abril 2004. ISSN:1049-3301.
- 140 WARRIER, U.; RELAN, P.; BERRY, O.; BANNISTER, J. **A network management language for OSI networks**. SIGCOMM '88: Symposium on Communications Architectures and Protocols. Agosto, 1988. Anais, Página(s): 98-105.
- 141 WONG, A.K.Y.; Ray, P.; PARAMESWARAN, N.; STRASSNER, J. **Ontology mapping for the interoperability problem in network management**. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005. Volume: 23 , Edição: 10, Página(s): 2058 – 2068.
- 142 WOOLDRIDGE, Michael; JENNINGS, Nicholas. **Intelligent Agents: Theory and Practice**. The Knowledge Engineering Review - Volume: 10 , Issue: 2, 1995. Página(s): 115 - 152
- 143 _____; _____. **Software Agents**. IEE Review - Volume: 42 , Issue: 1, 1996. Página(s): 17 - 20
- 144 XU, Hui; XIAO, Debao. **A Common Ontology-Based Intelligent Configuration Management Model for IP Network Devices**. First International Conference on Innovative Computing, Information and Control, 2006. (ICICIC '06). Anais, Volume: 1, Página(s): 385 – 388.

- 145 YONGJIAN, Yang; SONGYANG, Han. **Expert system-intelligent management for ATM network**. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 1999. IEEE SMC '99 Conference Proceedings. 1999 Volume: 5 , Página(s): 810 – 813.
- 146 ZHOU, Jingtao; et al. A survey of semantic enterprise information integration. Anais do 3rd Conference on International Information Sciences and Interaction Sciences (ICIS), 2010. Página(s) 234 – 239.